

VISIT...

LANZAROTE
Caliente.COM

Б. 7. 18
74-18

М. В. Мейкляр

ПАРОВЫЕ КОТЛЫ С ЕСТЕСТВЕННОЙ ЦИРКУЛЯЦИЕЙ



Госэнергоиздат

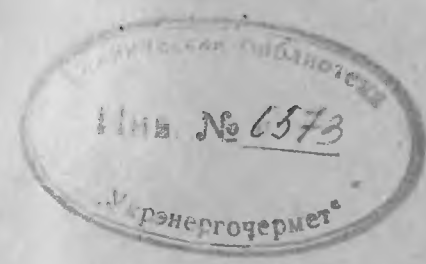
21.18
14-45

М. В. МЕЙКЛЯР

К.

ПАРОВЫЕ КОТЛЫ С ЕСТЕСТВЕННОЙ ЦИРКУЛЯЦИЕЙ

(УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ ДЛЯ МАШИНИСТА
ПАРОВОГО КОТЛА)



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА 1955 ЛЕНИНГРАД

В книге приведены сведения о работе паровых котлов большой производительности и их вспомогательного оборудования.

Сделан обзор конструкций пароперегревателей, водяных экономайзеров, воздухоподогревателей; рассмотрены вопросы их обслуживания; описаны случаи типичных аварий и разобраны меры по их предупреждению.

Книга предназначена служить учебным пособием для машинистов паровых котлов большой производительности.

Автор *Мейкляр Михаил Владимирович*

Паровые котлы с естественной циркуляцией.
Учебное пособие для машиниста парового котла

* * *

Редактор *С. М. Шухер*

Техн. редактор *Г. Е. Ларионов*

Сдано в пр-во 28/II 1955 г. Подписано к печати 25/VII 1955 г.
Бумага 84×108^{1/32} 14,35 п. л. Уч.-изд. л. 17
Т-04385 Тираж 10 000 Цена 6 р. 95 к. Зак. 114

Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10

ПРЕДИСЛОВИЕ

Объем знаний, требуемых от вахтенного персонала котельного цеха крупной электростанции, весьма обширен. Каждый работник должен знать свои права и обязанности, правила взаимоотношений с другими работниками, конструкцию оборудования своего цеха и приемы его эксплуатации; мероприятия по предупреждению неполадок и аварий и методы ликвидации аварии, правила техники безопасности.

В данной книге описаны, главным образом, современные паровые котлы большой производительности с естественной циркуляцией, которые выпускает наша котлостроительная промышленность. При этом предполагается, что оборудование своей котельной читатель должен изучить в основном путем тщательного ознакомления с ним на месте, с помощью руководителей котельного цеха. Приведен также ряд примеров по котлам более старой конструкции, работающих на наших электростанциях.

Для сокращения объема книги в ней рассматривается главным образом основное оборудование, т. е. сам паровой котел. По вспомогательному оборудованию — пылеприготовлению, тяго-дутьевым механизмам, а также по арматуре котла, обдувочным устройствам, измерительным приборам и автоматике дано лишь краткое описание, рассчитанное на начальное ознакомление с ними читателя, с изложением лишь некоторых их особенностей и неполадок, которые могут отразиться на работе котельного агрегата в целом. Для более полного изучения вспомогательного оборудования необходимо пользоваться имеющимися специальными руководствами.

Основной трудностью при составлении настоящей книги явилось то, что книга должна служить пособием как для читателя, лишь впервые пришедшего на электростанцию, так и для работника, имеющего большой производственный опыт.

Кроме того, в книге должны содержаться не только сведения, необходимые машинисту котла во время его вахты, но и материалы, которые позволят ему лучше понять условия работы оборудования и активно участвовать в коллективном решении различных вопросов эксплуатации котельного цеха и разработке мероприятий по усовершенствованию работающих котлов.

Исходя из этого, в первых главах книги дано самое общее описание котла в целом и приведены наиболее элементарные сведения. В последующих главах дано более подробное описание основных элементов котла и их работы.

Книга рассчитана на читателя, имеющего образование в объеме семилетки.

Автор считает необходимым особо подчеркнуть, что даже при первом ознакомлении с электростанцией в целом и с паровыми котлами в частности нельзя ограничиваться только запоминанием имеющихся в учебнике материалов. Читатель должен тщательно изучить конструкцию всех котлов и вспомогательных механизмов своего цеха, подробно осматривать их во время работы и во время ремонта, знать и помнить схемы трубопроводов, действие контрольно-измерительных приборов и т. п. Никакой учебник не может заменить приобретаемых только практикой навыков и знания особенностей поведения каждого отдельного котла при разнообразных условиях эксплуатации. Читателю принесет большую пользу подробное изучение неполадок, имевших место в котельном цехе, в котором он работает.

Читатель должен заранее уяснить себе, как он должен действовать при различных сложных обстоятельствах, и особенно во время аварий. Поэтому при всем стремлении к сокращению текста автор считал необходимым уделить достаточно внимания описанию различных практических

случаев, которые могут характеризовать действительные условия работы паровых котлов на электростанциях. В значительной части приведенных примеров описаны различные неполадки и аварийные повреждения, происходящие либо из-за недостатков конструкции оборудования и его монтажа, либо неправильного его обслуживания.

Отбирая для книги практические примеры нарушения нормальной эксплуатации, автор считал, что было бы неправильным описывать только наиболее простые случаи, а не такие, с которыми читатель, возможно, встретится на практике. Конечно, читатель не должен ограничиваться изучением только приведенных в книге примеров, которые безусловно не могут даже приблизительно охватить всех возможных на практике многообразных и иногда совершенно неожиданных обстоятельств, при которых эксплуатационные работники должны принимать конкретные и правильные решения.

Автор

СОДЕРЖАНИЕ

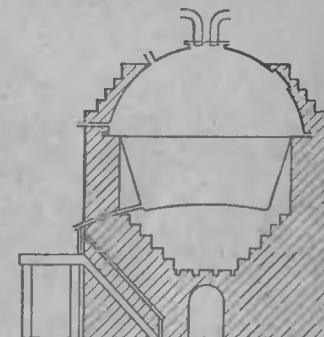
Предисловие	3
Введение	9
Глава первая. Топливо, вода, водяной пар и металлы . .	22
1-1. Топливо	22
1-2. Вода и водяной пар	28
1-3. Металл паровых котлов	36
Глава вторая. Устройство и работа паровых котлов . .	43
2-1. Основные типы котлов	43
2-2. Потери тепла и к. п. д. котельного агрегата	48
Глава третья. Пылеприготовление	54
3-1. Угледоадающие механизмы	54
3-2. Схема пылеприготовления с шахтными мельницами	57
3-3. Схемы пылеприготовления с шаровыми барабанными мельницами	61
3-4. Взрывоопасность угольной пыли	69
Глава четвертая. Сжигание пылевидного топлива	71
4-1. Воспламенение и горение пылевидного топлива	71
4-2. Топки с шахтными мельницами	76
4-3. Топки с турбулентными горелками	80
4-4. Топки с щелевыми горелками	89
4-5. Муфельные горелки	92
4-6. Шлакование топок и методы его предотвращения	97
Глава пятая. Сжигание жидкого и газообразного топлива	107
5-1. Сжигание жидкого топлива	107
5-2. Сжигание газообразного топлива	112
Глава шестая. Циркуляция воды в паровом котле	117
6-1. Схема циркуляции	117
6-2. Причины нарушения надежности циркуляции воды в котле	123
6-3. Меры предотвращения повреждений экранных труб	139

Глава седьмая. Пароосушающие устройства и ступенчатое испарение	145
7-1. Пароосушающие (сепарационные) устройства	145
7-2. Ступенчатое испарение	156
Глава восьмая. Пароперегреватели	167
8-1. Конструкция пароперегревателя	167
8-2. Регулирование температуры перегретого пара	173
8-3. Работа пароперегревателя при растопке котла	187
8-4. Возникновение водяного затвора в трубах пароперегревателя	189
Глава девятая. Водяные экономайзеры, воздухоподогреватели и золоулавливающие устройства	191
9-1. Водяные экономайзеры	192
9-2. Воздухоподогреватели	196
9-3. Неполадки в работе водяных экономайзеров и воздухоподогревателей	200
9-4. Золоулавливающие устройства	207
Глава десятая. Тяга и дутье	210
10-1. Устройство вентиляторов и регулирование их производительности	212
10-2. Газовоздушный тракт котельного агрегата	215
10-3. Параллельная работа дутьевых вентиляторов и дымососов	216
Глава одиннадцатая. Каркас и обмуровка котла	219
11-1. Каркас котла	219
11-2. Помосты и лестницы	222
11-3. Обмуровка и обшивка вертикальных стен и перекрытий котла	223
Глава двенадцатая. Арматура котла	233
12-1. Вентили и задвижки	233
12-2. Клапаны	239
12-3. Водоуказательные приборы	244
Глава тринадцатая. Питание котла	252
13-1. Питательные линии	252
Глава четырнадцатая. Приборы контроля работы котла	256
14-1. Измерение расхода	256
14-2. Измерение давления	257
14-3. Измерение температуры	264
14-4. Определение качества воды и пара	266
Глава пятнадцатая. Дистанционное управление и автоматическое регулирование парового котла	268
15-1. Дистанционное управление	268
15-2. Автоматическое регулирование работы котла	270
15-3. Регулирование питания котла вручную	275
Литература	279

ВВЕДЕНИЕ

Почти 200 лет назад, в 1764 г., в г. Барнауле на Алтае началось изготовление «парами действующей машины» И. И. Ползунова.

Свой котел (фиг. 1-1) Ползунов изготовил из меди, что объясняется трудностью уплотнения железного котла при тех возможностях, которые соответствовали развитию техники в XVIII в. Ползунов сократил по возможности поверхность плоских стенок и придал верхней части котла вид выгнутую, а нижней — выгнутую. Этим достигалось не только повышение механической прочности, но и увеличение высоты парового пространства и, следовательно, снижение влажности пара. Нижняя половина котла имела форму опрокинутого усеченного конуса, а нижняя стенка — несколько вогнутую форму.



Фиг. 1-1. Схематический разрез котла И. И. Ползунова.

Замечателен выбор арматуры котла. Наличие предохранительного клапана указывает на отчетливое понимание Ползуновым опасности чрезмерного повышения давления. Котел имел пробные краны для определения уровня воды, продувочную линию и даже автоматический регулятор питания поплавкового типа. Все это было выполнено сразу в промышленном масштабе крупнейшей по тому времени установки мощностью около 40 л. с. Котел имел высоту 2,68 м и наибольший диаметр 3,49 м при толщине стенок всего около 15 мм.

Неизвестно, какого развития достигли бы котел и машина Ползунова, если бы великий новатор смог строить один агрегат за другим и постепенно совершенствовать свои

конструкции. Но Ползунов умер 16 мая 1766 г., всего несколько дней не дожив до первого испытания работы своей машины.

Дело, начатое Ползуновым, постепенно развивалось. Известен, например, факт постройки в 1799 г. паровой машины отечественной конструкции для Гумешевского рудника на Урале. В 1810 г. паровая машина была построена неизвестным механиком в Златоусте. В 1815 г. оригинальную машину создал Вяткин на Верх-Исетском заводе в Екатеринбурге (нынешнем Свердловске). Однако прошло несколько десятилетий, прежде чем началась постройка первых районных электрических станций. Теоретически эта проблема была решена в 1880 г. Д. А. Лачиновым, писавшим об устройстве «центрального завода, из которого электричество разносило бы во все концы города... свет, работу, химическую энергию». Изобретатель электрической лампы П. Н. Яблочков также указывал в печати на целесообразность особых «фабрик», направляющих потребителям электрический ток по проводам наподобие того, как вода или газ направляются по трубам.

Первые две электрические станции в России были построены в 1883 г. для освещения Невского проспекта в Петербурге. Обе они были оборудованы локомобилями. В 1886—1890 гг. было построено несколько электростанций в Петербурге и Москве, на которых были установлены жаротрубные котлы производительностью около 1 т/час. В 1890 г. на Георгиевской электростанции в Москве был установлен водотрубный котел.

Первая электростанция, позволившая осветить целый город, была построена в бывшем Царском селе (нынешнем г. Пушкине близ Ленинграда). Ее мощность составляла 505 квт.

Развитие теплотехники в России связано с именами талантливых создателей оригинальных и передовых для своего времени типов и конструкций паровых котлов¹. Появились котлы В. Г. Шухова, В. И. Калашникова, А. И. Трусевича, В. Я. Долголенко, нефтяные форсунки А. И. Шпаковского, В. И. Береснева, О. К. Ленца. Развитию техники сопутствовали теоретические работы Д. И. Менделеева, В. В. Петрова, И. П. Алымова, И. А. Курнакова, В. А. Сазонова, К. В. Кирша и многочисленных других ученых, освещавших

¹ Очерки по истории энергетической техники СССР, А. П. Ковалев, Энергетическое котлостроение, ГЭИ, 1955.

в своих исследованиях вопросы теплотехники и гидродинамики, связанные с практическими условиями эксплуатации паровых котлов.

Строительством электростанции в Баку руководил Л. Б. Красин, впоследствии выдающийся деятель Советского государства. В 1913 г. близ Москвы под руководством Р. Э. Классона была пущена первая в мире крупная электростанция на торфе, что явилось большим шагом вперед в деле промышленного освоения этого топлива.

Однако соединенные усилия талантливых новаторов, инженеров и ученых не могли преодолеть техническую отсталость царской России. И. В. Сталин писал, что:

«...ни один из старых классов, ни феодальная аристократия, ни буржуазия, не мог разрешить задачу ликвидации отсталости нашей страны. Более того, эти классы не только не могли разрешить эту задачу, но они были неспособны даже поставить ее, эту задачу, в сколько-нибудь удовлетворительной форме»¹.

Большую часть котельного оборудования дореволюционной России составляли громоздкие, металлоемкие котлы небольшой производительности, изготовленные за границей, либо сделанные в России по заграничным чертежам на заводах, которые прямо или косвенно принадлежали иностранному капиталу. Патентные интересы и консерватизм владельцев предприятий тормозили развитие передовых конструкций. Широкое распространение получили жаротрубные котлы, а также многочисленные иные типы небольших котлов с ручной загрузкой топлива. Самые мощные котлы того времени давали в час 15—20 т пара давлением до 15 ат. Но даже таких котлов было немного.

Темпы развития теплоэнергетики в корне изменились после Великой Октябрьской социалистической революции.

Коммунистическая партия и Советское правительство всегда считали энергетику одной из ведущих отраслей народного хозяйства. Идея первостепенной значимости энергетики была выражена В. И. Лениным в его известных словах о том, что «Коммунизм — это есть Советская власть плюс электрификация всей страны».

Первым планом развития промышленности в молодой Советской республике был план ГОЭЛРО (государственной электрификации России), разработанный в 1920 г. по ини-

¹ И. В. Сталин, Сочинения, т. XI, стр. 249.

циативе Владимира Ильича Ленина. Об этом плане Ленин говорил:

«На мой взгляд, это — наша вторая программа партии... Без плана электрификации мы перейти к действительному строительству не можем»¹.

В плане брошюры «О продовольственном налоге» В. И. Ленин записал:

«Если не электрификация, все равно неизбежен возврат к капитализму»².

Первая часть плана ГОЭЛРО предусматривала восстановление и реорганизацию существовавших электростанций. Но центральной частью плана было строительство 30 новых крупных районных электрических станций общей установленной мощностью 1 750 тыс. кВт, в том числе 20 паровых электростанций на 1 110 тыс. кВт. Для сравнения можно указать, что в 1913 г., т. е. в последнем довоенном году Российской империи, мощность всех электростанций составила 1 098 тыс. кВт.

План ГОЭЛРО был успешно выполнен в 1930 г. В дальнейшем советская энергетика продолжала развиваться нарастающими темпами. В первую пятилетку 1928—1932 гг. были построены 44 районные электростанции, в 1935 г. мощность районных электростанций достигла 4 540 тыс. кВт, т. е. в 2,6 раза превысила план ГОЭЛРО.

Для столь мощного строительства, конечно, были непригодны паровые котлы старых типов, небольшой производительности и мало экономичные. Переход к новой, более совершенной технике был произведен в течение немногих лет, темпами и методами, возможными только при социалистической плановой системе народного хозяйства. Отметим лишь некоторые из планомерно осуществлявшихся для этого мероприятий.

1. От дореволюционной России советское котлостроение унаследовало крайнюю раздробленность производства. В 1928 г. на 15 заводах выпускалось до 67 различных типов-размеров котлов, большей частью малой производительности, причем для большинства этих заводов котлы были не только не единственным, но даже не главным видом продукции. Многие конструкции котлов были явно устаревшими.

Решением Советского правительства изготовление паровых котлов было сосредоточено лишь на нескольких заво-

дах. Остальные предприятия, где паровые котлы составляли лишь один из видов продукции, были освобождены от необходимости их выпуска. Централизация производства позволила лучше оснастить заводы специальными станками и другим оборудованием, более полно вооружить их новой техникой и объединить котлостроителей в небольшое число более сильных коллективов.

2. Были созданы научно-исследовательские институты и специализированные организации, занимавшиеся проектированием, монтажом и совершенствованием работы электростанций. По мере их роста и накопления опыта выделялись их филиалы. Так возникли и выросли ВТИ, ЦКТИ, Теплоэлектропроект, Промэнергопроект, ОРГРЭС, а также различные монтажные организации.

3. Последовательно проводились и продолжают проводиться многочисленные и разнообразные мероприятия по повышению квалификации и общественно-политического уровня всех работников электрических станций и по воспитанию их в духе высокой требовательности к качеству своей работы. Была создана обстановка нетерпимого отношения к авариям и неполадкам в эксплуатации, к перерасходу топлива и к нарушителям дисциплины.

Благодаря повседневной заботе партии и правительства вскоре в развитии энергетики произошел значительный перелом. Уже в годы первой пятилетки было освоено значительное число новых конструкций котлов большой производительности на повышенное давление пара. Эти котлы были изготовлены на реконструированных котлостроительных заводах.

Как пример совершенствования технологии изготовления паровых котлов можно указать на изменение способа производства котельных барабанов. Отдельные части барабанов соединялись между собой только заклепочными швами. Процесс клепки был весьма сложен и требовал от работников не только высокой квалификации, но и большого физического напряжения. Особенно тяжелым был труд «глухаря», который, находясь внутри барабана, прижимал к стенке особую державку, о которую расплющивалась внутренняя головка разогретой заклепки.

С 1935 г. отдельные части котельных барабанов начали соединять посредством газовой сварки. В дальнейшем была внедрена электро-сварка. Трудоемкость изготовления барабанов значительно уменьшилась, а их прочность и долговечность возросли.

В дореволюционное время лишь меньшая часть котлов имела водяные экономайзеры. Подогрев воздуха почти нигде не применялся. Считалось нормальным, если уходящие в дымовую трубу газы имели температуру 350—400° С. Новые котлы, как правило, стали оборудовать водяными

¹ В. И. Ленин, Сочинения, изд. 4-е, т. 31, стр. 482.

² В. И. Ленин, Сочинения, изд. 4-е, т. 32, стр. 302.

экономайзерами и воздухоподогревателями, что обеспечило возможность снижения температуры уходящих газов до 140—180° С.

Были усовершенствованы также и методы сжигания топлива. Широкое распространение получили механические колосниковые решетки, а затем пылеугольные топki.

На новых электрических станциях совершенно исчезла характерная для прошлых лет фигура кочегара, который лопатой забрасывал в топку уголь и в своей работе обычно ориентировался на показания лишь манометра и водоуказательных стекол. Кочегара заменил квалифицированный работник — машинист котла, который ведет топочный процесс и контролирует работу парового котла и его вспомогательных механизмов по многочисленным приборам. Полное изменение облика электрической станции сопровождалось резким изменением облика ее персонала — людей страны победившего социализма.

Широкое применение передовой техники привело к повышению надежности работы электростанций. Одновременно возросла их экономичность. Так, средний удельный расход условного топлива на выработанный на районных электростанциях киловатт-час электроэнергии был в 1928 г. равен 0,82 кг. В 1932 г. удельный расход топлива снизился до 0,715 кг. На отдельных передовых электростанциях этот показатель был еще лучшим; так, на Каширской электростанции он составлял 0,68 кг.

По удельному расходу топлива наши электростанции уже в довоенный период были более экономичны, чем в наиболее развитых капиталистических странах. Так, в 1937 г. удельный расход условного топлива в США был равен 0,65 кг/квт-ч, в Англии 0,67 кг/квт-ч, а в СССР — 0,614 кг/квт-ч.

Другим характерным показателем может служить годовое число часов использования установленной мощности на крупных электростанциях. Уже в 1931 г. годовое число часов использования установленной мощности в СССР было равно 3 920, а в дальнейшем еще более повысилось. Для сравнения можно упомянуть, что в США в 1929 г. годовое число часов использования оборудования на электростанциях общего пользования составляло 3 000, а в 1932 г. снизилось до 2 306. В Англии в 1931 г. оно составило 1 600 час.

В предвоенные годы советские энергетики готовились к переходу на новую, более высокую ступень развития. Решением XVIII конференции ВКП(б) был намечен пере-

ход к пару высокого давления и более высокой температуры. Отечественная война задержала внедрение этого мероприятия; оно стало осуществляться в послевоенные годы.

В Законе о пятилетнем плане восстановления и развития народного хозяйства СССР в 1946—1950 гг. было указано на необходимость:

«...широко внедрить на электростанциях новейшую энергетическую технику — применение пара высокого давления и высокой температуры...».

В настоящее время паровые котлы высокого давления получили широкое распространение. Переход от давления пара перед турбиной 29 атa и температуры 400° С к давлению 90 атa и температуре 480—500° С дает возможность экономить 12—14 % топлива, что имеет очень большое значение.

Котел высокого давления производительностью 230 т/час, работая с полной нагрузкой на антраците, потребляет около 27 т топлива в час. При сжигании низкосортных бурых углей расход топлива доходит до 60 т в час. Указанная экономия топлива 12—14 % практически означает для высококачественных углей сбережение 80—90 т, а для бурых углей — до 200 т топлива за сутки работы каждого из котлов электростанции. Такая экономия с избытком окупает усложнение конструкции оборудования на электростанциях высокого давления.

По сравнению с 1940 г. в 1950 г. удельный расход топлива сократился на электростанциях на 9,2 %, за счет чего энергетики сэкономили стране только за один 1950 г. несколько миллионов тонн топлива. В дальнейшем удельный расход топлива на выработку электроэнергии продолжал снижаться ежегодно в среднем на 2,3 %.

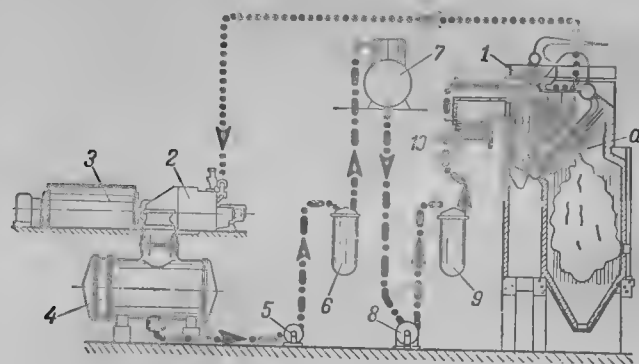
«Важно также отметить качественные сдвиги, происшедшие в развитии энергетики страны... Около 80 процентов электроэнергии тепловых районных электростанций производится на электростанциях, сжигающих местное малоценное топливо (бурый уголь, торф, сланцы, отходы обогащения угля и т. д.), которое раньше почти не использовалось»¹. Однако мы не можем удовлетвориться достигнутым. Проводится ряд новых мероприятий по улучшению показателей работы электростанций.

Почти двухсотлетнее развитие теплотехники в нашей стране, которое лишь на сравнительно небольшом отрезке времени происходило в советских условиях, может служить наглядным примером очевидных преимуществ социалистиче-

¹ М. Г. Первухин, Речь на собрании избирателей Тбилисского Калининского избирательного округа 11 марта 1954 года, «Правда», 12 марта 1954 г.

ского метода развития народного хозяйства. В короткие сроки советская энергетика по многим показателям догнала и превзошла энергетику наиболее развитых капиталистических стран. Сбываются пророческие слова великого Ленина, сказанные в декабре 1920 г., когда VIII Всероссийский съезд Советов утвердил план ГОЭЛРО:

«...если Россия покроется густой сетью электрических станций и мощных технических оборудований, то наше ком-



Фиг. 1-2. Упрощенная схема тепловой электрической станции.

Подача пара к подогревателям и к деаэратору на схеме не показана.

1 — паровой котел; 2 — паровая турбина; 3 — электрический генератор; 4 — конденсатор; 5 — конденсатный насос; 6 — подогреватель низкого давления; 7 — деаэратор; 8 — питательный насос; 9 — подогреватель высокого давления; 10 — водяной экономайзер.

мунистическое хозяйственное строительство станет образцом для грядущей социалистической Европы и Азии»¹.

Схема работы современной тепловой электрической станции показана на фиг. 1-2. На этой схеме условно изображены один паровой котел 1 и одна паровая турбина 2. В действительности на действующих электростанциях пар из нескольких котлов соединяется в общем паропроводе и затем направляется в несколько турбин. Паровая турбина 2 вращает присоединенный непосредственно к ней генератор 3, который вырабатывает электрический ток. Для нормальной работы турбины нужно, чтобы пар, поступающий в нее из котла, имел неизменными температуру и давление.

Потребление электрического тока может изменяться. В момент повышения электрической нагрузки турбины начинают потреблять больше пара и давление пара в котле и

перед турбиной начинает уменьшаться. Но при снижении давления пара немедленно начинает работать автоматический регулятор, который соответственно увеличивает подачу топлива в топку. Иногда при отсутствии автоматического регулирования это делает вручную машинист котла. Давление пара выравнивается, и котел начинает работать с более высокой нагрузкой.

Когда нагрузка электростанции начинает уменьшаться, генератор разгружается и давление пара перед турбиной начинает расти. Немедленно, автоматически (или вручную) уменьшается подача топлива в топку с таким расчетом, чтобы давление пара перед турбиной оставалось неизменным.

В турбине пар расширяется до давления во много раз меньше атмосферного. Выходя из турбины, пар поступает в конденсатор 4, где движется между трубками, внутри которых течет холодная вода. Охлаждаясь, пар превращается в воду — конденсат, который откачивается из конденсатора насосом 5.

В 1824 г. французский военный инженер Карно теоретически доказал, что в самой совершенной тепловой машине не менее половины тепла должно теряться неизбежно. В те годы еще не было электрических станций и процесс передачи тепла от одного тела другому ошибочно представляли как переливание фантастической невидимой жидкости «теплорода». Но выводы Карно оказались правильными для любой электростанции, где весь пар превращается в воду в конденсаторах паровых турбин. Охлаждающая эти конденсаторы проточная вода уносит с собой более половины тепла топлива. Действие отведенного с водой тепла наглядно видно зимой. Река, в которую сбрасывается охлаждающая вода из конденсаторов, не замерзает вблизи электростанции даже в сильные морозы.

Тепло топлива используется более полно, если часть пара отбирается из турбины при промежуточном давлении и направляется для промышленного потребления и на отопление зданий. Для этих целей высокого давления пара обычно не требуется. Такой пар используется сначала для выработки электрической энергии, получаемой при вращении турбины, затем отработавший в турбине пар используется для производственных нужд и отопления. Для этого строят теплоэлектроцентрали (сокращенно — ТЭЦ).

На таких электростанциях к. п. д. значительно повышается по сравнению с обычными конденсационными электростанциями.

¹ В. И. Ленин, Сочинения, изд. 4-е, т. 31, стр. 486.

В области теплофикации наша страна занимает первое место в мире. Советское правительство придает строительству и расширению теплоэлектроцентралей большое значение. В директивах XIX съезда партии по пятилетнему плану развития СССР на 1951—1955 гг. говорится:

«Обеспечить строительство теплоэлектроцентралей и теплосетей для осуществления широкой теплофикации городов и промышленных предприятий».

Как схематически показано на фиг. 1-2, конденсат из насоса 5 не сразу попадает в котел 1. Сначала он проходит через подогреватель низкого давления 6, где нагревается до температуры, немного меньшей, чем температура кипения (например, до 80°C). Затем вода нагревается до кипения в деаэраторе 7. Нагрев производится за счет тепла пара, отбираемого для этой цели из турбины 2.

Значение деаэратора для работы котлов большой производительности чрезвычайно велико. При кипении из воды выделяются растворенные в ней газы, в том числе кислород воздуха. Если воду не очищают от кислорода в деаэраторе, то выделение кислорода происходит внутри котла, прежде всего в водяном экономайзере, что вызывает быстрое ржавление (коррозию) его труб. Недопустимая коррозия происходит даже в тех случаях, когда вода в деаэраторе недогрета до кипения только на $1-2^{\circ}\text{C}$.

Даже кратковременное ухудшение работы деаэратора недопустимо для работы котлов большой производительности. Известны случаи разрушения труб экономайзера только потому, что деаэратор включали в работу не до растопки котла, а после растопки и взятия котлом нагрузки. При сильном ржавлении водяного экономайзера котловая вода приобретает красно-бурую окраску от содержащихся в ней окислов железа, в чем можно убедиться по цвету отобранных проб.

Через деаэратор должна пройти вся вода, подаваемая в котлы. Эта вода состоит из конденсата турбин, из возвращаемых потребителями воды и пара и из добавочной воды, восполняющей ее убыль на электростанции (на упрощенной схеме фиг. 1-2 эти трубопроводы не показаны).

Очищенная от кислорода и других газов вода направляется в питательный насос 8, из которого выходит под давлением, значительно превышающим давление в котле. Бесперебойная работа питательных насосов является одним из важнейших условий надежной эксплуатации всей

электростанции. Прекращение подачи воды в котел недопустимо даже на самое короткое время. Поэтому по правилам котлонадзора на электростанциях всегда имеется не менее трех питательных насосов — два с электрическим приводом и один, вращаемый паровой турбиной (так называемый турбонасос), являющийся резервным и всегда находящийся в полной готовности к пуску.

Мощность, потребляемая питательными насосами, весьма значительна. Так, например, электродвигатель питательного насоса для котлов высокого давления большой производительности имеет мощность порядка 2000 квт.

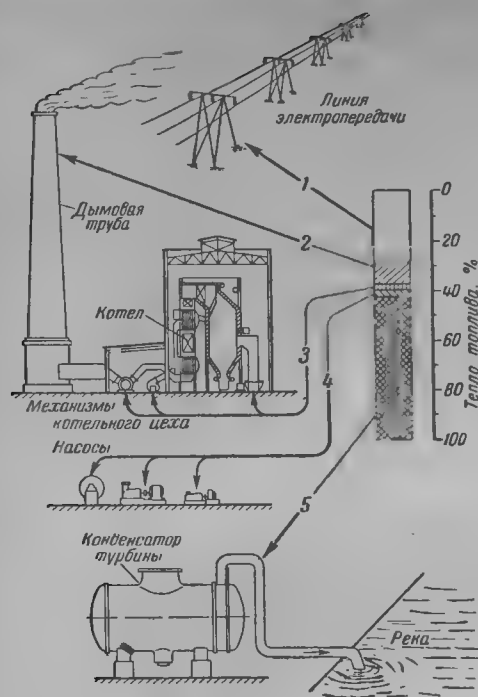
Из питательного насоса вода проходит через подогреватель высокого давления 9, где нагревается паром, отбираемым из паровой турбины 2. У котлов, работающих при $35-44\text{ ат}$, вода нагревается обычно до 150°C , у котлов высокого давления — до $200-215^{\circ}\text{C}$. При атмосферном давлении такой подогрев неосуществим, так как вода испаряется уже при 100°C . Но в паровом котле вода кипит при более высокой температуре, чем та, с которой она выходит из подогревателя 9. Дополнительно вода подогревается в экономайзере 10, который является частью парового котла.

Подогрев воды в подогревателе высокого давления является одним из мероприятий по повышению экономичности работы электростанции. Особенно велико значение такого подогрева на электростанциях высокого давления, на которых до 25% пара отводится из турбины в подогреватели высокого и низкого давления, минуя конденсатор, благодаря чему экономия топлива достигается порядка 3—5%.

Работа электрической станции является наглядной иллюстрацией известного закона М. В. Ломоносова, согласно которому энергия не создается и не исчезает, а только переходит из одного вида в другой или от одного тела к другому. На электростанции скрытая химическая энергия топлива превращается в тепле парового котла в тепловую энергию. Пар, вращая турбину, охлаждается и его тепловая энергия переходит в механическую энергию, а затем в генераторе — в электрическую энергию, которая у потребителей может быть использована как световая энергия электрических ламп, как тепловая энергия электропечей, механическая энергия металлообрабатывающих станков и т. д.

Однако практически превратить в электрическую энергию можно лишь меньшую часть тепла топлива, сжигаемого под паровыми котлами электростанции.

На фиг. 1-3 схематически показано примерное распределение тепла топлива на конденсационной электростанции.



Фиг. 1-3. Схема распределения тепла, выделяющегося при сжигании топлива, на конденсационной электростанции.

Показаны лишь важнейшие составляющие.

1 — тепло, превращенное в электрическую энергию, направляемую потребителям; 2 — потеря тепла котлом (недожог топлива и потеря с уходящими газами); 3 — затраты тепла (электроэнергии) на собственные нужды котельного цеха (на привод мельниц, вентиляторов и других механизмов котельной); 4 — затраты тепла (электроэнергии) на привод питательных и других насосов и прочих механизмов электростанции; 5 — потеря тепла с охлаждающей водой конденсатора паровой турбины.

Изображенный справа столбик разделен на несколько частей, высота которых соответствует количеству затраченного тепла. Штриховкой показана самая большая потеря тепла — в конденсаторе паровой турбины. Незаштрихованная часть столбика характеризует тепло, используемое в виде электроэнергии, идущей по проводам к потребителям. Это количество тепла относительно невелико. Даже на электростанциях высокого давления оно обычно не превышает 30% всего тепла, получаемого при сжигании топлива.

Сравним расход топлива на электростанциях, работающих при давлении в котлах 35 и 110 *ата*, имеющих одинаковую производительность и сжигающих уголь одного месторождения. Обе электростанции чисто конденсационные, т. е. без отдачи отработавшего пара потребителям. На первой электростанции в полезную электрическую энергию превращается 25% тепла топлива, на второй — 28,5%.

Примем расход топлива на электростанции 110 *ата* равным 100%. Тогда на электростанции 35 *ата* потребляется

$$100 \frac{28,5}{25} = 114\% \text{ топлива.}$$

Следовательно, в рассматриваемом случае на электрического давления достигается экономия 14% топлива.

В таблице приведены параметры применяемых в СССР паровых турбин высокого и высокого

Наименование показателей	Повышенное давление	Высокое давление
Давление пара в барабане котла, <i>ата</i> . . .	44	110
Давление пара за главной парозапорной задвижкой, <i>ата</i>	39	100
Температура пара за главной задвижкой, °С	450	510
Давление пара перед турбиной, <i>ата</i>	35	90
Температура пара перед турбиной, °С	435	480—500
Допустимые колебания давления пара перед турбиной, <i>ата</i>	32—37	85—95
Допустимые колебания температуры пара за главной задвижкой, °С	±10	

ГЛАВА ПЕРВАЯ ТОПЛИВО, ВОДА, ВОДЯНОЙ ПАР И МЕТАЛЛЫ

1-1. ТОПЛИВО

В Советском Союзе последовательно внедряется в жизнь указание В. И. Ленина:

«Использование непервоклассных сортов топлива (торф, уголь худших сортов) для получения электрической энергии с наименьшими затратами на добычу и перевоз горючего»¹.

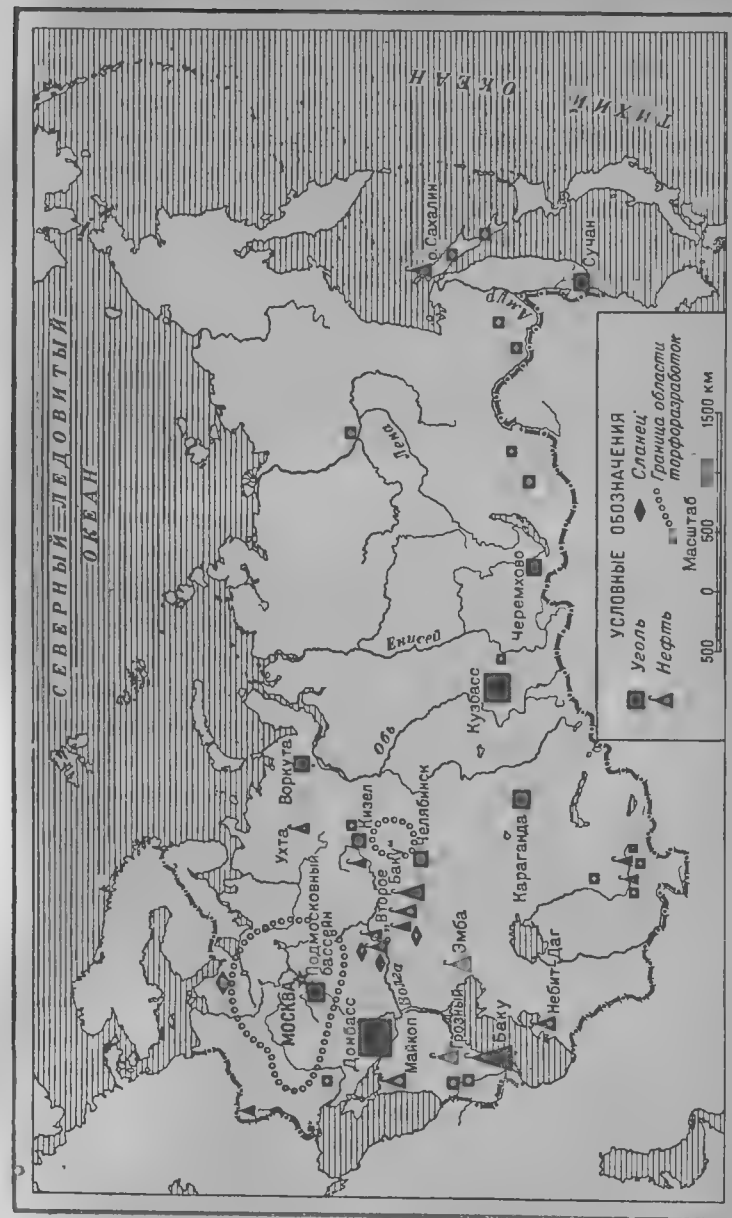
Сжигание в каждом промышленном районе местных топлив избавляет от необходимости затрачивать народные средства на далекую перевозку углей и облегчает работу железнодорожного и водного транспорта. Такая политика предотвращает быстрое истощение запасов наиболее ценных сортов горючего, идущих на технологические цели. Принцип максимального использования местных топлив в каждом промышленном районе противостоит осуществляемому в капиталистическом мире хищническому истреблению нефтяных запасов и лучших сортов угля.

На фиг. 1-4 показано расположение важнейших мест добычи угля, сланцев и нефти в СССР. Карта показывает, что в большинстве районов имеются собственные запасы горючих ископаемых².

Одним из важнейших по добыче угольных бассейнов в Советском Союзе является Донецкий, расположенный в восточной части Украинской ССР и Каменской области РСФСР. Второе по значению место принадлежит Кузбассу в Западной Сибири, третье место — Карагандинскому бассейну в Казахстане. Большое значение имеет Подмосковский бассейн, где добывается бурый уголь. Угольные месторождения в больших размерах разрабатываются также на

¹ В. И. Ленин, Сочинения, изд. 4-е, т. 27, стр. 288—289.

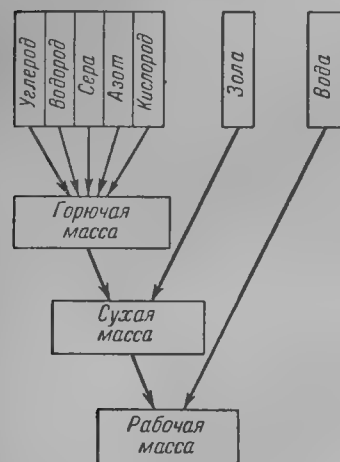
² На карте не обозначены многочисленные месторождения торфа, но указаны границы области разработки торфа.



Фиг. 1-4. Расположение важнейших месторождений топлива в СССР.

Урале, в Восточной Сибири (Черемхово и др.), на Севере (Воркутское месторождение) и на Дальнем Востоке

Топливо, сжигаемое под паровыми котлами электростанций, разделяют на следующие основные группы и виды:



Фиг. 1-5. Элементарный состав твердого топлива.

характерных для растений смолистых веществ (так называемых летучих) и тем больше содержится в нем углерода.

Нефть, природный газ и сланцы имеют также в своей основе продукты длительных преобразований остатков низших животных и растительных организмов.

Продукты распада растений и низших животных организмов образуют в твердом топливе его горючую массу.

Состав горючей массы топлива, несколько различающийся для отдельных его месторождений, в основном определяется возрастом данного вида топлива и содержанием в нем летучих веществ. В нижней части фиг. 1-6 схематически показано, что в одном из наиболее древних по происхождению углей — антраците содержание углерода в горючей массе наибольшее, а содержание кислорода и летучих веществ — наименьшее.

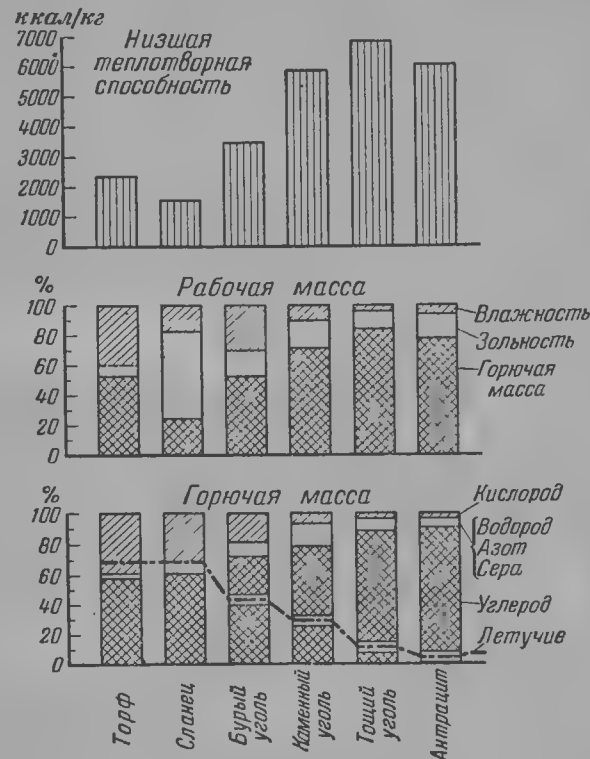
На фиг. 1-5 и 1-6 можно видеть, из каких элементов состоит горючая масса ископаемых топлив. Из пяти указанных на схемах составных элементов топлива лишь углерод, водород и сера выделяют тепло при сгорании. Практически, однако, на теплотворную способность твердых топлив

твердые топлива — торф, сланцы, бурые угли, каменные угли, антрацит и полуантрацит. жидкое топливо — мазут; газообразные топлива — доменный газ, коксовый газ, природный газ.

Подробные сведения о свойствах топлива отдельных месторождений приведены в специальных книгах и таблицах. Ниже рассмотрены лишь некоторые их особенности.

Все виды топлива представляют собой остатки некогда произраставших на земле растений или низших животных организмов. Чем древнее происхождение твердого топлива, тем, как правило, меньше в нем

сравнительно мало влияет тепло сгорания водорода и серы из-за небольшого содержания их в топливе; при сгорании водорода выделяется большое количество тепла — 34 200 ккал/кг, т. е. в 4 с лишним раза больше, чем при сгорании 1 кг углерода, но водород, азот и сера, взятые вместе,



Фиг. 1-6. Сравнительная характеристика различных твердых топлив СССР.

составляют лишь небольшую часть горючей массы. Это видно по высоте белых полосок на нижних столбиках фиг. 1-6. Основное количество тепла при сгорании почти всех твердых топлив выделяется при сжигании углерода.

Кроме горючей массы, в состав топлива входят и неорганические вещества; они образуют золу угля. Горючую массу вместе с золой называют сухой массой топлива. Рабочей массой топлива называется сухая масса

вместе с содержащейся в топливе влагой. Связь между горючей, сухой и рабочей массой топлива схематически изображена на фиг. 1-5 и 1-6.

Количество и состав золы топлива зависят от того, среди каких минеральных веществ происходило разложение растений, из которых образовалось топливо. Содержание золы значительно разнится в топливах отдельных месторождений. Различно и содержание в них влаги.

Средние и верхние столбики фиг. 1-6 лишь приближенно характеризуют различные показатели отдельных сортов топлива.

Применяемый в качестве топлива мазут представляет собой остаток после извлечения из нефти бензина, керосина и других продуктов. Вместе с нефтью, а иногда и раздельно из недр земли добывают природный газ.

На металлургических заводах в качестве топлива применяют коксовый и доменный газы. Коксовый газ получается при обработке угля в коксовых печах, доменный газ — при горении кокса в доменных печах. Доменный и коксовый газы используются в основном для отопления различных металлургических печей. В котельный цех, как правило, подают лишь излишки этих газов. Котлы, работающие на металлургических заводах, обычно приспособлены для сжигания как горючих газов, так и твердого топлива.

Количество тепла, выделяющегося при полном сгорании 1 кг топлива, характеризуется его низшей теплотворной способностью. На фиг. 1-6 показано, что низшая теплотворная способность меньше всего у сланцев, рабочая масса которых содержит до 60—70% золы. Мала теплотворная способность и у торфа, имеющего высокую влажность.

Как правило, горючая масса топлива, поступающего на электростанцию, почти не изменяется с течением времени. Колебание низшей теплотворной способности в основном объясняется изменением зольности и особенно влажности топлива. Наиболее сильно изменяется качество торфа. В дождливые сезоны добычи торфа влажность его доходит до 55 и даже до 60%, вследствие чего значительно ухудшаются условия его сжигания.

Как правило, предельное содержание влаги в топливе тем больше, чем меньше его возраст. Для более «молодого» подмосковного бурого угля максимальная влажность составляет 36—38%, для тощих углей 12—15%. Для самого «старого» из углей — антрацита она не превышает 10—12%.

С возрастанием влажности твердого топлива уменьшается его сыпучесть. Топливо с большим содержанием влаги теряет сыпучесть настолько, что забивает приемные решетки бункеров, застревает в бункерах и в течках. Иногда в бункерах и течках образуются своды, которые лишь с трудом можно разрушить. Сыпучесть топлива восстанавливается, если его влажность удастся уменьшить.

В суровые зимы и в северных районах иногда приходится бороться со смерзанием топлива в железнодорожных вагонах, прибывающих на электростанцию. Иногда топливо смерзается и в приемных бункерах. Таким образом, наличие в топливе влажности не только понижает его теплотворную способность, но влияет и на другие его свойства.

Большое значение при использовании твердого топлива имеет также наличие в нем золы. Если уголь сжигают на колосниковой решетке, то зола, образующаяся при его выгорании, покрывает сплошной коркой поверхность отдельных кусков горящего топлива, что препятствует соприкосновению горючей массы с кислородом воздуха. Потеря тепла от недожота при этом достигает 6—10% всего тепла топлива. Столь неэкономичное использование угля недопустимо. Поэтому под котлами большой производительности трудно сжигать уголь с большой зольностью на колосниковых решетках. Как правило, твердое топливо предварительно размалывают в порошок (пыль) в углеразмольных мельницах и затем вдувают в топку струей воздуха.

Поступая в топку, частицы топлива воспламеняются и сгорают в топочном объеме в виде факела. При таком методе сжигания удается обеспечить омывание воздухом отдельных частиц топлива и обеспечить более полное его сгорание.

Важное практическое значение имеет и другая особенность золы топлива — ее размягчение при высокой температуре, из-за чего начинается налипание золы на трубы и их шлакование.

Отметим также, что воспламеняемость топлива зависит главным образом от содержания в топливе летучих веществ. Чем меньше в угле летучих, тем при более высокой температуре происходит его воспламенение.

Воспламеняемость твердых топлив не зависит от их теплотворной способности. Трудновоспламеняемые топлива, сгорая, могут дать больше тепла, чем легковоспламеняемые. Это видно и из схемы фиг. 1-6. Наиболее трудновос-

пламеняемое топливо — антрацит, имеет весьма высокую теплотворную способность.

Чем меньше воспламеняемость твердого топлива, тем тоньше нужно его размалывать в мельницах. Тонкость помола определяют просеиванием пробы угольной пыли через специальные металлические сита. В СССР тонкость помола характеризует остаток на сите, имеющем отверстия размером 88 микрон (0,088 мм). При размоле антрацита требуется, чтобы остаток на этом сите не превышал 6—8% веса просеянного топлива. Более грубый помол антрацита приводит обычно к возрастанию потери тепла от недожога. Недопустим и слишком тонкий помол, при котором условия горения для большинства топлив мало улучшаются, но резко увеличивается затрата электроэнергии на разمول топлива.

Для сжигания тощих углей нормальной считается тонкость помола, характеризующая 12% остатка на упомянутом сите. Для углей, имеющих более высокое содержание летучих веществ и лучшую воспламеняемость, допустим более грубый помол — до 40—50% остатка на этом сите. В настоящее время ведутся опыты по сжиганию в топках дробленки.

Упомянем еще об одной характеристике топлива — размолоспособности, определяемой обычно размолом пробы угля в лабораторных условиях в специальных мельницах. Наиболее твердым из советских топлив, т. е. топливом с наихудшей размолоспособностью, является донецкий антрацит.

Коэффициент размолоспособности показывает, во сколько раз производительность мельницы при размоле данного топлива будет больше, чем при размоле антрацита, коэффициент размолоспособности которого условно принимают равным единице (сравнивается подсушенное топливо при одинаковой тонкости помола). Коэффициент размолоспособности не зависит от возраста топлива и содержания в нем летучих. Например, по данным ВТИ¹, для челябинского бурого угля он колеблется от 1,02 до 1,33; для подмосковного бурого угля он равен 1,73; для кизеловского каменного угля — 1,0; для донецкого тощего угля — 1,9.

1-2. ВОДА И ВОДЯНОЙ ПАР

Поступающая на электростанцию из реки или озера природная вода всегда содержит в себе некоторое количество различных примесей. Часть этих примесей растворена в воде

¹ В. П. Романин, Пылеприготовление, Госэнергоиздат, 1953.

(например, поваренная соль, соли кальция и магния, а также газообразные составляющие — кислород, углекислота и др.). Другие вещества взвешены в воде в виде мелких твердых частичек, причем некоторые частицы настолько малы, что проходят через обычный механический фильтр. Таковы, например, многие органические вещества, являющиеся продуктом распада растительных и животных организмов. Более крупные частицы представляют собой различные минералы.

Состав природных вод весьма разнообразен и зависит не только от того, используется ли на данной электростанции вода из реки, озера или водохранилища, но и от того, меж каких горных пород протекают реки и какие вещества они вымывают, находятся ли вверх по течению фабрики, шахты и т. п., сбрасывающие в реку свои отработавшие воды.

Так, например, количество взвешенных и растворенных веществ очень мало в р. Неве, вода которой отстаивается последовательно в Онежском и Ладожском озерах. Много минеральных веществ содержится в природных водах Донбасса, что объясняется наличием в почве мела и гипса. Вода рек Закавказья, текущих с гор и питающихся тающим снегом, содержит мало растворенных веществ. Но эти реки текут с большой скоростью и namывают большое количество частиц из горных пород, среди которых они протекают.

Примером влияния искусственного загрязнения может служить обнаруженное на одной уральской электростанции внезапное появление кислотности речной воды, что объяснялось откачкой и спуском в реку воды из вновь открытого горизонта близлежащей шахты.

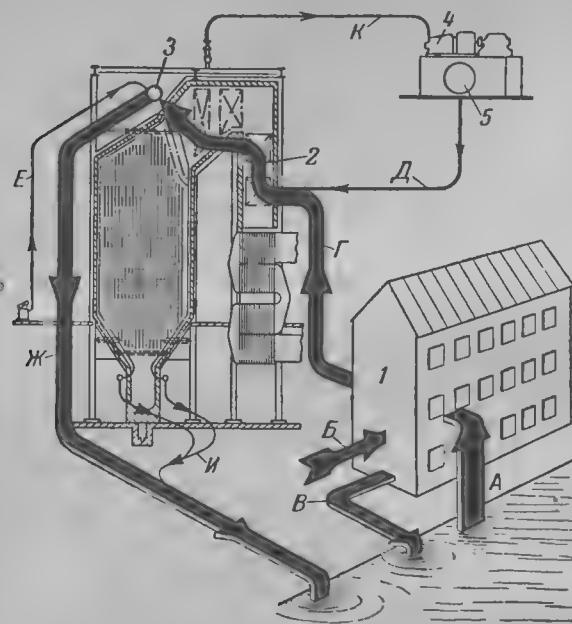
Перед поступлением в котел природная вода подвергается на электростанции специальной обработке в водоочистительных устройствах. Взвешенные в воде вещества почти полностью улавливаются в фильтрах и отстойниках, но значительная часть растворенных веществ (солей) попадает с водой в котел.

Воду, поступающую в котел, называют питательной водой. Питательная вода по трубопроводам подается в водяной экономайзер. При входе в барабан котла она смешивается с водой, находящейся в барабанах, кипятильных и экранных трубах, называемой котловой водой.

Количество солей, поступающих в котел с питательной водой, зависит от условий работы электростанции и должно соответствовать требуемым нормам. На фиг. 1-7 схематически показано, какими путями добавляются в котловую воду растворенные соли и как удаляются из котловой воды излишек солей. Основная масса солей попадает в котловую

воду вместе с очищенной водой, представляющей собой добавку взамен безвозвратно израсходованного пара.

На конденсационных электростанциях потеря пара очень мала. Соответственно очень мала и добавка свежей (природной) воды, проходящей через водоочистку. Но значи-



Фиг. 1-7. Схема движения солей, растворенных в воде.

Толщина линий условно соответствует количеству переносимых солей. 1—здание цеха водоподготовки; в него поступает вода из реки (А) и реагенты, например, едкий натр, поваренная соль (Б), часть солей возвращается из цеха водоподготовки в реку (В); 2—экономайзер котла; в него поступает питательная вода. Наибольшее количество солей заключается в добавляемой воде, поступающей из цеха водоподготовки (Г); немного солей приносит с собой конденсат (Д); 3—барабан котла; в него соли входят с питательной водой и при фосфатировании (Е). Основная часть солей из котла удаляется с непрерывной продувкой (Ж); кроме того, небольшое количество солей выходит из котла при периодической продувке (И) и выносятся перегретым паром (К); 4—паровая турбина; в нее поступает небольшое количество солей с паром (К); часть этих солей отлагается внутри турбины, другая часть возвращается в котел с конденсатом (Л); часть солей попадает в конденсат через неплотности трубок конденсатора 5.

тельная часть тепловых электростанций отдает потребителям большое количество пара безвозвратно; взамен этого пара в котлы добавляется химически очищенная вода.

Из солей, поступающих в котлы с питательной водой, лишь небольшая часть уносится насыщенным паром. При парообразовании подавляющее количество солей остается

в воде, из-за чего содержание солей в котловой воде постепенно увеличивается. Если не удалять из котла часть воды, то солесодержание котловой воды может возрасти до опасных пределов. Поэтому часть воды (обычно от 0,5 до 5%, а в отдельных установках и больше) удаляют из котла посредством непрерывной продувки. Назначение непрерывной продувки состоит, следовательно, в поддержании требуемого солесодержания котловой воды. Кроме непрерывной производится также периодическая продувка воды для удаления оседающих в нижней части котла твердых взвешенных частиц.

Накипь и шлам. Почти в каждой реке вода встречает на своем пути разнообразные известковые горные породы — мел, гипс, известковый шпат и пр. Эти и многие другие породы содержат окислы кальция и магния. Соприкасаясь с речной водой, они соединяются с растворенным в воде небольшим количеством углекислого газа и образуют различные, но сходные по своему действию соли, именуемые солями жесткости. Эти соли опасны для работы паровых котлов.

Основное количество солей жесткости удаляют из воды до подачи ее в котел. Но в процессе химической обработки небольшая часть этих солей все же не улавливается. Попадая в котел, соли жесткости обычно свободно проходят через экономайзер и выделяются при кипении воды. В результате этого на внутренней поверхности экранных труб и труб конвективного пучка появляется твердый нерастворимый осадок, называемый накипью.

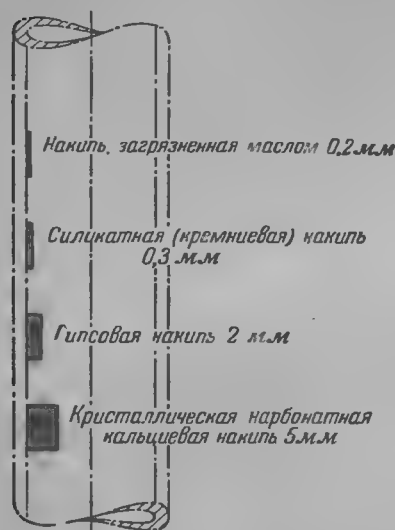
Как правило, накипь очень плохо проводит тепло. Покрытая накипью и поэтому недостаточно охлаждаемая труба в паровом котле нагревается до высокой температуры, теряет свою прочность и может быть разрушена внутренним давлением. Особо опасна накипь у котлов высокого давления.

Влияние различных видов накипи схематически показано на фиг. 1-8. Толстый слой кремниевой (силикатной) накипи или накипи, загрязненной маслом, равнозначен по своему действию более толстому слою гипсовой накипи.

В котловую воду для уменьшения накипеобразования добавляют фосфаты, которые соединяются с солями жесткости и образуют твердые частицы, не оседающие на поверхностях нагрева и движущиеся по трубам вместе с потоком воды. Такие частицы называют шламом. Постепенно шлам оседает в нижних экранных камерах и нижнем

барабане котла и время от времени удаляется при открытии вентилей периодической продувки.

При правильно организованном водном режиме котла, правильной подаче в него фосфатов и своевременном удалении шлама котел может длительно работать без внутренней очистки. Но если шлама накапливается большое количество, то при малой скорости воды он может прикипать к поверхностям нагрева, образуя вторичную накипь.



Фиг. 1-8. Толщина накипи различного вида, при которой получается одинаковый нагрев металла трубы.

Дальнейшее увеличение содержания фосфатов в котловой воде нежелательно, так как они способствуют образованию пены над уровнем воды в барабане.

На многих электростанциях подача фосфатов в котел производится посредством дозатора-вытеснителя. Дозатор-вытеснитель представляет собой небольшой сосуд 2 (фиг. 1-9), который заполняют раствором фосфатов при атмосферном давлении из бачка 3 и затем включают параллельно питательной магистрали 7. При этом часть воды проходит через бачок 2, а часть—мимо него через шайбу 4.

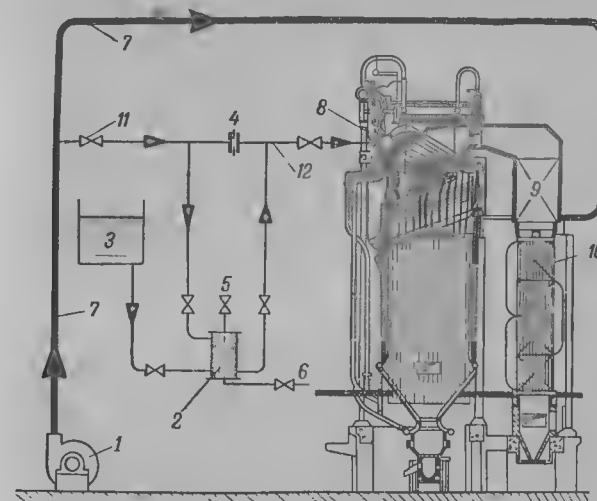
Основным недостатком такого способа подачи фосфатов является то, что большое их количество подается в котел за короткое время. Это приводит к увеличению образования

накипи.

Таким образом, для предотвращения образования в котле накипи необходимы: обработка природной воды до подачи ее в котел и удаление из нее солей жесткости, а также других вредных солей; фосфатирование котловой воды для превращения в шлам небольшого количества прошедших в котел солей жесткости; периодическая продувка шлама из нижних экранных камер и нижних барабанов.

Фосфатирование. В котловой воде всегда должен быть небольшой избыток фосфатов, свидетельствующий о том, что все накипеобразователи нейтрализованы.

Даже при максимальном дросселировании подачи воды через вентиль 11 и пропуске части воды мимо дозатора через шайбу 4 количество фосфатов в котле периодически значительно изменяется, постепенно уменьшаясь после зарядки и снова возрастая при последующей зарядке.



Фиг. 1-9. Схема подачи в котел фосфатов.

1 — питательный насос; 2 — бачок-вытеснитель; 3 — бачок для разведения фосфатов; 4 — дроссельная шайба; 5 — воздушник бачка-вытеснителя; 6 — дренаж; 7 — питательная линия котла; 8 — барабан котла; 9 — экономайзер; 10 — воздухоподогреватель; 11 — регулирующий вентиль; 12 — подача фосфатов в барабан котла.

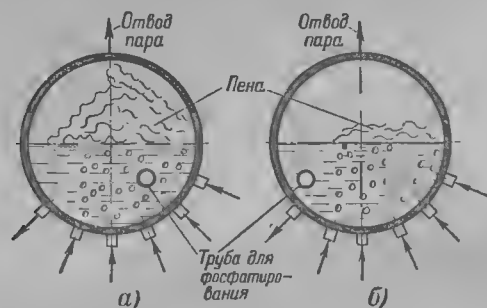
Подавать фосфаты в барабан котла лучше всего специальным насосом небольшой производительности. Разведенные в воде фосфаты из бака поступают в насос самотеком. Давление, создаваемое насосом, должно быть значительно больше давления в барабане котла.

Труба для фосфатирования внутри барабана обычно расположена горизонтально под уровнем воды и лежит над водоопускными трубами (фиг. 1-10). Размещать трубу для фосфатирования вблизи подъемных труб нельзя, ибо фосфаты, поднимаясь с паровыми пузырями на поверхность воды, увеличивают слой пены.

Внутри барабана труба для фосфатирования имеет по всей длине отверстия общим сечением, равным приблизительно половине живого сечения трубы.

Кремниевая кислота. Кроме описанных выше солей жесткости в котловую воду попадают многочисленные иные соли. Среди них особое значение имеют кремниевые соли, образующиеся при растворении различных песчаных горных пород.

Как схематически показано на фиг. 1-8, кремниевая накипь является одной из самых опасных. Но эксплуатацию электростанций высокого давления наиболее осложняет



Фиг. 1-10. Схема размещения в барабане котла трубы для подачи фосфатов.

а — неправильное размещение трубы для фосфатирования под подъемными трубами экранов; б — правильное размещение трубы для фосфатирования над водоопускными трубами.

другое свойство кремниевых солей. При давлении в котле свыше 60—70 ат некоторое количество этих солей и прежде всего кремниевая кислота уносится паром, причем унос кремниевой кислоты при 110 ат достигает примерно 1% ее содержания в котловой воде. С повышением давления унос кремниевой кислоты возрастает.

Большинство существующих конструкций внутрибарабанных устройств может лишь незначительно уменьшить этот унос. Кремниевая кислота в большинстве случаев свободно проходит через пароперегреватель, но оседает на рабочих поверхностях турбины при охлаждении в ней пара.

Отложение кремниевой кислоты в турбине высокого давления происходит в виде плотной стекловидной пленки кремнезема, которая лишь с трудом может быть удалена. По мере роста толщины такой пленки мощность турбины постепенно снижается, иногда на 10—20%. Снижается также и экономичность работы турбины. Таким образом, кремниевая кислота безвредна для котла, но может нарушить работу всей электростанции.

Конечно, нельзя допустить, чтобы, например, турбина 10 000 квт снизила свою мощность до 45 000 или даже до 10 000 квт из-за заноса ее кремниевыми солями. Снижение содержания кремниевой кислоты в питательной воде производится в основном путем осаждения кремниевых солей из добавляемой природной воды. Для большинства котлов высокого давления в настоящее время единственным мероприятием для снижения содержания кремниевой кислоты в котловой воде является усиление непрерывной продувки. При этом уменьшается содержание в котловой воде всех солей, в том числе и кремниевой кислоты.

Концентрация солей. Содержание (концентрация) в питательной и котловой воде отдельных солей характеризуется различным образом.

Наиболее просто измерять солесодержание количеством миллиграммов (т. е. тысячных долей грамма) растворенного вещества в 1 л раствора. Если, например, указывают, что концентрация натриевых или иных солей в котловой воде составляет 50 мг/л, то это значит, что в каждом литре котловой воды содержится 50 мг соответствующих солей.

Для того чтобы характеризовать одним числом содержание в воде различных солей, неодинаковых по своим свойствам, жесткость воды измеряют в миллиграмм-эквивалентах на литр (мг-экв/л). Одному миллиграмм-эквиваленту жесткости соответствует содержание в воде 28 мг/л окиси кальция либо 20,2 мг/л окиси магния и т. д. Если, например, указывают, что жесткость воды составляет 0,3 мг-экв/л, то это значит, что соответствующее количество других солей может произвести то же суммарное химическое действие, как 8,4 мг/л окиси кальция.

Содержание солей в паре измеряют в микрограмм-эквивалентах — тысячных долях миллиграмм-эквивалента. Например, щелочность пара 45 микрограмм-эквивалентов на 1 кг (45 мк-экв/кг) равна 0,045 мг-экв/кг.

Основные свойства водяного пара. Пар, образующийся из кипящей воды, имеет ту же температуру, что и вода, из которой он образуется. Такой пар называют насыщенным. Пар, имеющий при том же давлении более высокую температуру, называют перегретым.

В табл. 1-1 показано, как изменяются с повышением давления различные характеристики воды и пара. Из этой таблицы видно, что в паровых котлах испарение воды происходит при температуре значительно больше 100° С, в част-

ности, в котлах с давлением 110 ат вода кипит при температуре свыше 300° С.

Если такая вода выходит из котла наружу, то ее температура понижается до температуры кипения при атмосферном давлении, т. е. примерно до 100° С. За счет этого снижения температуры часть воды превращается в пар. Через неплотности в работающем паровом котле наблюдается парение даже если вытекает наружу не пар, а вода.

Если кипятить воду при атмосферном давлении, то термометр показывает 100° С все время, пока вода не испарится полностью. При этом подводимое к воде тепло затрачивается на превращение ее в пар без повышения температуры. Это тепло называется скрытой теплотой испарения. В паровом котле при более высокой температуре кипения сохраняется свойство воды поглощать значительное количество тепла при испарении. Из табл. 1-1, однако, видно, что с повышением давления скрытая теплота испарения уменьшается.

Проходя через пароперегреватель и получая в нем дополнительное количество тепла, пар одновременно расширяется. Вследствие этого в змеевиках пароперегревателя скорость пара на выходе больше, чем у входа.

Если же температура пара остается неизменной, а его давление увеличивается, то пар сжимается. В табл. 1-1 показано, как изменяется при повышении давления и при неизменной температуре (420° С) удельный объем пара, т. е. измеренный в куб. метрах объем, занимаемый 1 кг пара. С повышением давления с 10 до 110 ат удельный объем пара уменьшается в 12 раз.

ТАБЛИЦА 1-1

Давление, атм	Температура кипения воды, °С	Скрытая теплота испарения, ккал/кг	Удельный объем пара при температуре кипения, м³/кг	Удельный объем пара при 420° С, м³/кг
10	179	482	0,1980	0,3224
23	219	445	0,0885	0,1380
35	241	420	0,0582	0,0894
44	255	403,5	0,0460	0,0703
110	317	303	0,0164	0,0255

1-3. МЕТАЛЛ ПАРОВЫХ КОТЛОВ

Все поверхности нагрева, барабаны, каркас, помосты для обслуживания и другие элементы паровых котлов большой производительности изготавливают из стали.

Чугун применяют лишь иногда для изготовления экономайзера и воздухоподогревателя; обычно из него делают только лазы, лючки, различные крепления обмуров-

ки и другие сравнительно мелкие детали. Из стального литья изготавливают корпус арматуры (вентилей, клапанов и пр.). В ничтожном количестве для отдельных деталей арматуры потребляется медь и другие цветные металлы.

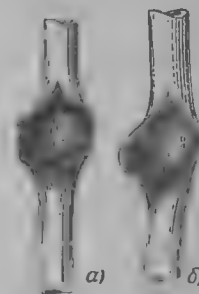
При плавке металла почти полностью выгорают его вредные примеси — сера и фосфор. Их содержание в стали составляет сотые доли процента. Кроме того, при плавке стали вводят легирующие добавки, повышающие ее качество. В табл. 1-2 приведены данные о химическом составе наиболее распространенных в котлостроении сортов стали.

В расплавленную сталь вводят раскислители, отнимающие у нее кислород и тем повышающие ее качество. Одним из лучших раскислителей считается алюминий. Однако в 1943 г. в США произошла крупная авария из-за разрыва на электростанции паропровода высокого давления, изготовленного из молибденовой стали, с наружным диаметром 325 мм. Разрыв произошел недалеко от сварного шва по всему поперечному сечению трубы. До аварии паропровод проработал свыше 5 лет.

Обследование показало, что добавление в сталь для раскисления повышенного количества алюминия при длительной работе трубы с температурой 500—525° С способствовало постепенному перерождению металла: небольшое количество содержащегося в стали углерода выделилось в виде графитовых зерен, из-за чего прочность металла резко уменьшилась. Выделение в стали графитовых зерен (графитизацию) обнаружили после этого и на других электростанциях. В настоящее время особенности эксплуатации паровых котлов тщательно учитываются металлургами, в частности для котлов высокого давления содержание алюминия в стали строго ограничено.

При неправильном выпуске металла из мартеновской печи иногда внутри стали остаются посторонние включения. После того, как стальную болванку раскатывают на прокатных станах, эти посторонние включения принимают вид тонкой пленки, имеющей очень малую прочность. Большую часть труб с пленой отбраковывают на котлостроительном заводе по трещинам в местахгиба или по протеканию воды при гидравлическом испытании. Иногда отслоившийся металл задерживает внутри трубы шар во время контрольной проверки труб. Отдельные трубы с пленой могут остаться незамеченными, но через некоторое время ослабленный пленой металл может разорваться.

На фиг. 1-11, а показан внешний вид трубы, разорвав-



Фиг. 1-11. Характер разрыва экранных труб.

а — разрыв из-за пленки в металле; б — перерыв из-за нарушения циркуляции воды в котле

шейся по плене. Труба в большинстве случаев имеет в месте разрыва прямой участок.

Пока неизвестны способы, которыми можно было бы заранее обнаружить плену на трубе работавшего котла. Но трубы с пленой попадают очень редко — на одном из нескольких новых котлов и обычно в количестве 1—2 на всю поверхность нагрева.

Стальное литье для корпусов арматуры получают обычно в электропечах, в которых нагревание производится электрическим током. В таких же печах изготавливают наиболее качественные сорта стали, например жаростойкие стали, которые в небольшом количестве применяют для крепления змеевиков пароперегревателя.

Условия работы металла

В деталях парового котла металл подвержен различным нагрузкам. Из них важнейшей является давление пара. Кроме того, возникают дополнительные напряжения от собственного веса, веса обмуровки, а также при неравномерном расширении отдельных элементов котла.

В зависимости от ожидаемой нагрузки и требуемого запаса прочности вычисляют толщину стенок труб и барабанов, размеры колонн и балок каркаса и т. д. Если действительная нагрузка стальных деталей намного превышает допустимую и запас прочности исчерпывается, то сталь деформируется настолько, что это приводит к повреждению.

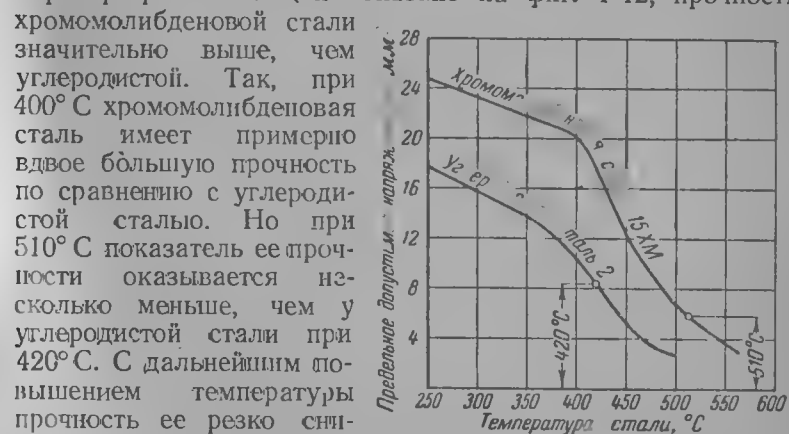
Выбирая размеры стальных изделий, нужно учитывать чрезвычайно важное свойство стали, заключающееся в том, что по мере повышения температуры уменьшается наибольшая нагрузка, которая для этой стали может быть допущена. Так, например, при холодной воде можно допустить гораздо большее давление в барабане, чем при работе котла, когда барабан разогрет. Змеевики пароперегревателя свободно выдерживают давление, когда пар в них нагревается до расчетной температуры. Но если по какой-либо причине температура пара в змеевиках превысит расчетную, они могут разорваться.

В котлах, в которых пар перегревается до температуры выше 425°С, выходную часть пароперегревателя, а также паропроводы перегретого пара изготавливают из высококачественной (легированной) стали. Обычно применяют хромомолибденовые стали 12МХ или 15ХМ, для которых содержание хрома и молибдена указано в табл. 1-2.

ТАБЛИЦА 1-2

Наименование элемента	Марка и наименование стали		
	Ст. 20	12МХ	15ХМ
	углеродистая	хромомолибденовая	
	Содержание элементов, %		
Углерод	0,17—0,25	0,09—0,16	0,09—0,16
Марганец	0,35—0,65	0,4—0,7	0,4—0,7
Кремний	0,17—0,37	0,15—0,30	0,17—0,37
Молибден	—	0,4—0,6	0,4—0,6
Хром	Не более 0,3	0,4—0,6	0,8—1,1
Сера, не более . .	0,045	0,010	0,010
Фосфор, не более .	0,040	0,040	0,040

Переход к пару высокого давления дополнительно усложняет условия работы как барабана, так и змеевиков пароперегревателя. Как показано на фиг. 1-12, прочность хромомолибденовой стали



Фиг. 1-12. Уменьшение прочности стали при повышении температуры.

значительно выше, чем углеродистой. Так, при 400°С хромомолибденовая сталь имеет примерно вдвое большую прочность по сравнению с углеродистой сталью. Но при 510°С показатель ее прочности оказывается несколько меньше, чем у углеродистой стали при 420°С. С дальнейшим повышением температуры прочность ее резко снижается. У котлов высокого давления нужно с особой тщательностью устранять чрезмерное повышение температуры металла сверх расчетной и, следовательно, добиваться одинаковой по возможности температуры перегретого пара во всех змеевиках пароперегревателя.

При температуре перегретого пара порядка 550°С применяют специальные жаропрочные аустенитные стали, в несколько раз более дорогие, чем хромомолибденовые.

Ниже описаны некоторые особенности работы металла, которые иногда являются причиной аварийных повреждений поверхностей нагрева котлов.

Коррозия. Коррозией металла называется его постепенное разрушение, возникающее на поверхности и происходящее вследствие химического или электрохимического воздействия рабочей среды на металл. Наиболее распространенным видом коррозии является химическое соединение металла с кислородом воздуха (ржавление). Ржавчина сначала тонким слоем покрывает поверхность металла, но при неблагоприятных условиях может разрушить его на значительную глубину.

Истирание металла, например, под действием летучей золы топлива, называемое эрозией, также начинается с поверхности, но происходит без химического или электрохимического воздействия. Коррозия не всегда равномерно разрушает поверхность металла. Наиболее сильно разрушается металл в различных трещинах, шероховатостях и т. д. Коррозия часто имеет вид отдельных «оспин», называемых иногда «коррозионными язвами». Под действием коррозии незначительные вначале шероховатости постепенно увеличиваются и «язвенное» разрушение оборудования происходит гораздо быстрее, чем при равномерной коррозии. Иногда наблюдается «точечная» коррозия.

Наиболее часто коррозия поражает водяной экономайзер и воздухоподогреватель.

Важнейшим мероприятием, предохраняющим от коррозии экономайзера, является непрерывный контроль за правильностью работы деаэратора.

Даже кратковременное ухудшение работы деаэратора, когда в питательной воде повышается содержание кислорода и углекислоты, приводит к быстрой коррозии металла котла, прежде всего в водяном экономайзере. Особо тщательно нужно очищать от газов — кислорода и свободной углекислоты — воду для котлов высокого давления.

Быстрая коррозия происходит также при соприкосновении с воздухом влажной поверхности стали. Когда при остановке котла из него удаляют воду, то вскоре на внутренней поверхности барабанов, камер и труб появляется бурый налет ржавчины. При длительном простое оборудования приходится во избежание коррозии заполнять котлы аммиаком или щелочным раствором либо устанавливать в барабанах противни с веществами, поглощающими влагу из воздуха (например, с негашеной известью).

Особым видом коррозии является так называемая каустическая хрупкость металла. Она возникает в различных щелях и трещинах, в которых растворенные в воде вещества отлагаются в виде твердого осадка. Некоторые из этих веществ соединяются со сталью, образуя хрупкую массу.

На котле ТП-150-1, работавшем при 33 ат, через полтора года после пуска в эксплуатацию возникло 45 кольцевых трещин в концах труб, завальцованных в барабане. Все повреждения были расположены в средней части барабана, ближе к левой стороне. Были одновременно поражены трубы конвективного пучка, заднего и фронтального экранов. На наружной поверхности поврежденных участков удаленных труб был обнаружен розовый налет.

Причиной повреждений явилась неплотность вальцовки, вследствие чего через щели, образовавшиеся между барабаном и трубами, из барабана просачивалась вода. Температура металла в вальцовочном соединении была около 240° С, поэтому, проходя через щели, вода испарялась, а содержащиеся в ней вещества отлагались в щелях. Некоторые из этих веществ, взаимодействуя с металлом, вызвали каустическую хрупкость, при которой прочность металла резко уменьшалась.

Можно предполагать, что первые трещины в трубах возникли задолго до того, как они были обнаружены.

К тяжелым последствиям может привести каустическая хрупкость заклепочных соединений в котельном барабане. В настоящее время в советском котлостроении заклепочные соединения не применяют: более того, если на старом барабане разрушается заклепочный шов, его не переклепывают, а заменяют сварным. Но в эксплуатации имеется еще много старых котлов с клепаными барабанами. Состояние заклепочных соединений необходимо периодически проверять.

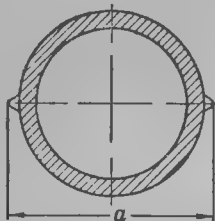
При простукивании заклепок барабана, проработавшего 15 лет при давлении 20 ат, было обнаружено изменение звука. После удаления головок заклепок оказалось, что тело их было на $\frac{3}{4}$ разрушено в результате каустической хрупкости. Продление эксплуатации этого котла в таком его состоянии могло бы привести к разрыву барабана. В другой котельной при ревизии барабана было обнаружено, что несколько заклепок ослабло. На это не обратили должного внимания. Вскоре после этого произошел взрыв барабана, что привело к большим разрушениям.

Надежным методом при выявлении трещин является метод магнитной дефектоскопии. Сущность метода состоит в том, что на исследуемую, достаточно намагниченную деталь наносят мельчайшие частицы магнитного порошка. В местах расположения трещин образуются четкие жирные линии в виде «жилок»¹. Большое распространение получила

¹ Руководящие указания по применению метода магнитной суспензии для выявления трещин в элементах котельных соединений, ГЭИ, 1954.

проверка путем просвечивания металла рентгеновскими лучами или радиоактивным веществом.

Ползучесть стали. У котлов высокого давления на главном паропроводе, на перепускных трубах и коллекторах пароперегревателя, которые нагреваются до высокой температуры, приваривают бобышки (фиг. 1-13) и через определенный промежуток времени производят тщательное измерение расстояния a между их выступающими концами. Постепенное увеличение размера a сверх допустимого свидетельствует о том, что коллектор или труба имеют недопустимую деформацию и может потребоваться незамедлительная их замена.



Фиг. 1-13. Контроль ползучести металла труб паропровода.

Котел высокого давления работал при давлении 130 ат и температуре пара 480°С. Выходной коллектор пароперегревателя по заводским документам считался изготовленным из хромомолибденовой стали. Штуцеры для приварки змеевиков были выдавлены из тела коллектора и составляли с ним одно целое.

После 13 300 час. работы котла была обнаружена неплотность в месте приварки к штуцеру нескольких змеевиков. Это объяснили некачественностью монтажной сварки. Штуцеры подварили, и котел продолжал работать. Спустя некоторое время появились неплотности

в других штуцерах и повторные неплотности в подваренных. Была обнаружена неплотность в сварном стыке левого днища коллектора. Все эти дефекты исправляли подваркой. Трехкратная и даже четырехкратная течь в нескольких штуцерах была объяснена псевдобством подварки. Лишь после 17 800 час. работы котла возникло предположение, что непрекращающиеся свищи в сварных стыках объясняются постепенным увеличением диаметра штуцеров и самого коллектора. При проверке оказалось, что наружный диаметр коллектора был увеличен в отдельных местах на 20 мм, а толщина стенки между штуцерами уменьшилась с 34 до 21,5 мм. Контрольный анализ металла показал, что заводской сертификат и клеймо на самом коллекторе были неправильны. В действительности коллектор был изготовлен не из хромомолибденовой, а из обычной углеродистой стали, из которой были выполнены коллекторы насыщенного пара, вследствие чего при температуре пара 480°С напряжение превышало допустимое для этой стали.

Для определения наличия в стали хрома, молибдена и других элементов в настоящее время применяется метод спектрального анализа при помощи переносного стилоскопа.

Стилоскоп состоит из оптического прибора и генератора. Оптический прибор служит для разложения света в спектр, а генератор — для образования искры, т. е. для возбуждения спектра. Анализ производится без повреждения изделия.

ГЛАВА ВТОРАЯ

УСТРОЙСТВО И РАБОТА ПАРОВЫХ КОТЛОВ

2-1. ОСНОВНЫЕ ТИПЫ КОТЛОВ

Назначением парового котла является производство пара путем нагревания воды теплом, выделяющимся при сжигании топлива.

Все котлы по характеру движения в них воды можно разделить на три группы — на котлы с естественной циркуляцией воды, котлы с принудительной циркуляцией воды и прямоточные. В котлах с естественной циркуляцией вода из барабана самотеком опускается по расположенным снаружи необогреваемым трубам, затем проходит через нижние камеры (коллекторы) и поднимается по обогреваемым трубам опять в барабан (фиг. 2-2,а). В барабане пар отделяется от воды и снова направляется в водоотпускные трубы¹. Таким образом, у котлов с естественной циркуляцией вода многократно проходит через трубы (циркулирует). Причины, по которым вода совершает самотеком это круговое движение, изложены в гл. 6.

Котлы, в которых круговое движение воды по трубам (циркуляция воды) совершается посредством специального насоса 13 (фиг. 2-2), называются котлами с принудительной циркуляцией. Котлов большой производительности этого типа в СССР имеется очень немного.

Котлы, у которых циркуляция воды отсутствует, называются прямоточными. У таких котлов барабанов не имеется. На упрощенной схеме фиг. 2-2,в показано, что в прямоточном котле вода из экономайзера 5 направляется в трубы, расположенные в нижней части топки и оттуда поднимается по почти горизонтальным трубным питкам 10, расположенным по стенам топки и образующим экраны. В этих экранах большая часть воды превращается в пар. Из верхней части экранов пароводяная смесь выходит в переходную зону 14, где завершается испарение воды, после чего пар проходит через пароперегреватель 4.

У котлов всех этих трех типов экономайзер и пароперегреватель, через которые вода и пар проходят только 1 раз, являются прямоточными. Но в прямоточных котлах вода движется лишь 1 раз также и через экранные трубы. Широкое внедрение прямоточных котлов стало возможным после

¹ В конвективных лучках многобарабанных котлов обогреваются и опускные трубы. Но обогрев этих труб сравнительно невелик и испарение воды в них почти отсутствует.

большой исследовательской и конструкторской работы, проведенной проф. Л. К. Рамзиным, удостоенным Сталинской премии за разработку и освоение этих котлов, носящих его имя.

Первый котел Рамзина, пущенный в работу в 1933 г., явился первым советским агрегатом высокого давления большой производительности (200 т/час, 140 ат, при температуре перегретого пара 500° С).

Основные элементы котла с естественной циркуляцией.

На фиг. 2-1 показан продольный разрез современного парового котла с естественной циркуляцией, в котором производится сжигание пылевидного топлива в топочной камере 1, имеющей большой объем. Большие размеры топки нужны для того, чтобы обеспечить полное сгорание топлива.

На подавляющем большинстве современных электростанций твердое топливо сжигается под паровыми котлами в пылевидном состоянии. Топливо и воздух подаются в топочную камеру через горелки 3. Часть воздуха у некоторых котлов вводится в топку отдельно, через особые отверстия (щели) в стенах. При горении топлива в топке образуется факел, от которого тепло путем лучеиспускания передается поверхности труб, расположенных в топочной камере.

Излучение тепла нагретым телом и, в частности, топочным факелом по своему характеру подобно световому излучению, хотя тепловые лучи невидимы для глаза. Действие лучистого тепла на расстоянии на человека ясно ощущается, например, при открытии лаза в топку; входящий в топочную камеру через отверстие холодный воздух делает невозможной в данном случае передачу тепла другим способом.

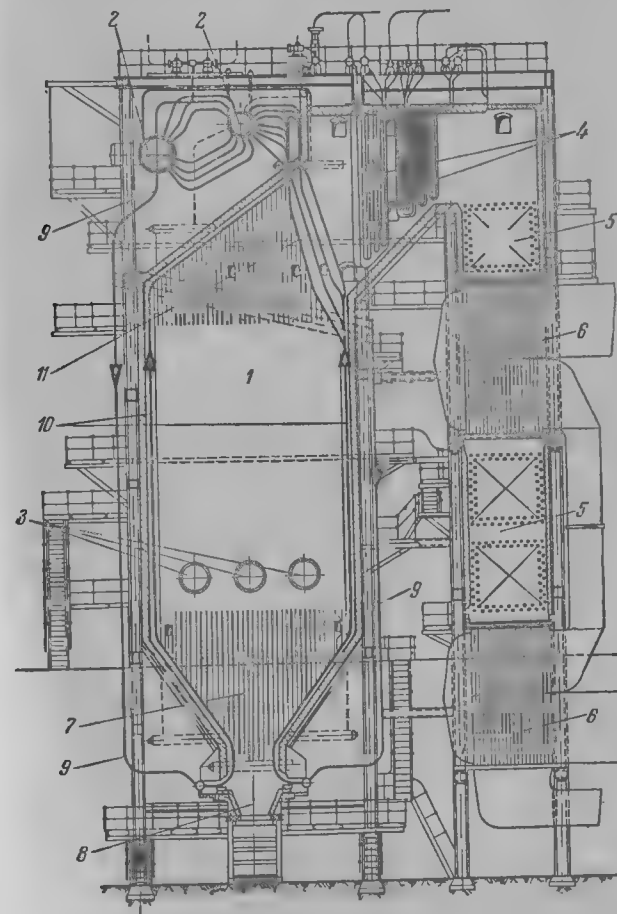
Количество излучаемого тепла резко увеличивается с возрастанием температуры нагретого тела.

Под горелками топочная камера имеет суживающуюся книзу форму. Эту часть топки называют холодной воронкой. Здесь происходят охлаждение и затвердевание выпадающих из факела частиц спекшейся золы, образующих шлак, падающий в шлаковый бункер. Шлак удаляется большей частью действием сильной струи воды (гидрозолоудаление).

В некоторых котлах холодная воронка отсутствует и расплавленные внутри топки частицы золы, опускаясь на горизонтальный под топку, образуют слой жидкого шлака. Через

любое отверстие (лётку) жидкий шлак вытекает из топки и затвердевает под действием водяного охлаждения, после чего удаляется из котельной.

В топках с холодной воронкой выпадает в виде шлака 10—15% содержащейся в топливе золы. Остальное количе-



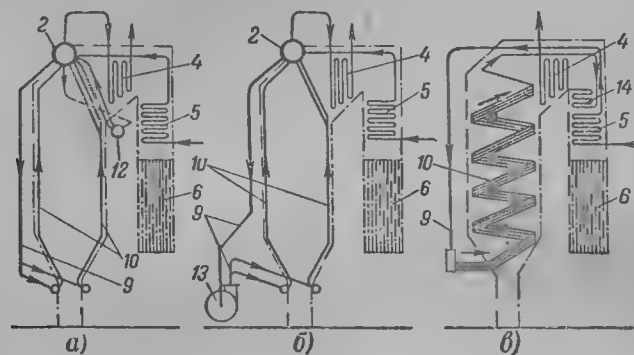
Фиг. 2-1. Схема парового котла высокого давления с естественной циркуляцией.

Примечание: по высоте часть экранных труб и средние змеевики в пакетах экономайзера не показаны.

1 — топочная камера; 2 — барабан котла; 3 — горелки; 4 — пароперегреватель; 5 — экономайзер; 6 — воздухоподогреватель; 7 — холодная воронка; 8 — шлаковый бункер; 9 — водоупускные трубы экранов; 10 — подъемные экранные трубы; 11 — фестон.

ство золы выносятся из топки продуктами горения — дымовыми газами. В топках с жидким шлаком количество улавливаемой золы возрастает до 30—40%, а в некоторых конструкциях (циклонных топках) — до 85—90% от полного количества золы, содержащейся в топливе.

Систему соединенных между собой труб, в которых происходит испарение воды, покрывающих стены топочной камеры, называют экраном. У котлов большой произво-



Фиг. 2-2. Схемы основных типов котлов.

а — котел с естественной циркуляцией воды; б — котел с принудительной циркуляцией воды; в — прямоточный котел. Обозначения те же, что и на фиг. 2-1; кроме того: 12 — конвективный трубный пучок; 13 — циркуляционный насос; 14 — переходная зона прямоточного котла.

дительности экраны, как правило, покрывают все стены топки. Трубы экрана размещают обычно на небольшом расстоянии друг от друга, а нижние их концы присоединяют к сборным камерам (коллекторам).

Пар, образующийся в экранных трубах, отводится из их верхних концов либо непосредственно в барабан котла, либо в верхние сборные камеры (коллекторы), откуда он направляется в барабан по отводящим трубам.

Барабаны представляют собой горизонтальные стальные цилиндры большого диаметра (до 1,6 м в свету). В одном или двух барабанах поддерживается определенный уровень воды. Выходящий из экранных и кипяточных труб пар, проходя через особые устройства, расположенные внутри барабана, освобождается от воды и отводится затем через трубы, расположенные в верхней части парового пространства барабана.

Для избежания перекрывания шлаком экранных труб сверху топки эти трубы разводят, образуя фестон. За

фестоном у многих котлов расположен конвективный грубный пучок, в котором, как и в экранах, происходит испарение воды. У современных котлов большой производительности этот пучок невелик, а иногда и совсем отсутствует.

В фестоне, в конвективном трубном пучке и в следующих за ними по пути дымовых газов элементах котла передача тепла частично происходит за счет лучеиспускания газов. Но большая часть тепла передается не излучением, а непосредственным соприкосновением газов с менее нагретыми трубами, т. е. конвекцией. Чем ниже температура газов, тем меньший процент тепла они отдают излучением и тем большее значение имеет передача тепла конвекцией. Количество тепла, передаваемого конвекцией, возрастает с увеличением скорости газов.

Поверхностью нагрева котла называется та часть его поверхности, через которую происходит передача тепла от газов к воде, пару или воздуху.

Поверхность нагрева топочного экрана вычисляется как поверхность стен, закрываемых экраном. Такой расчет верен без поправок в том случае, если экранные трубы расположены вплотную друг к другу и поглощают все лучистое тепло, идущее на них от высоконагретого факела. Если же между экранными трубами имеются промежутки, то в расчет вводится поправочный коэффициент, меньший единицы.

Для труб, омываемых дымовыми газами и заполненных водой или паром (например, для труб конвективного трубного пучка), поверхность нагрева вычисляется как наружная поверхность труб. При передаче тепла от газов к воздуху поверхность нагрева подсчитывают как сумму поверхностей, омываемых воздухом и дымовыми газами.

Пароперегревателем называется поверхность нагрева, в которой происходит перегрев пара до требуемой температуры. Из барабана в пароперегреватель направляется насыщенный пар, имеющий температуру кипящей воды. Поверхность нагрева пароперегревателя состоит из змеевиков, т. е. многократно согнутых труб, которые в современных котлах имеют наружный диаметр 38 или 42 мм. Дымовые газы омывают змеевики снаружи; внутри змеевиков движется пар.

Из пароперегревателя перегретый пар через главную парозапорную задвижку поступает в главный паропровод.

Питательная вода, вводимая в котел вместо испаряющейся в нем воды, нагревается в водяном экономайзере, а затем направляется в барабан котла. Водяной экономайзер состоит из змеевиков, которые обычно

изготавливают из труб наружным диаметром 38 или 32 мм. Вода протекает внутри труб, дымовые газы движутся между трубами.

Воздухоподогреватель служит для подогрева дымовыми газами воздуха, вдуваемого в топку, что улучшает процесс горения топлива и увеличивает к. п. д. (коэффициент полезного действия) котельного агрегата.

2-2. ПОТЕРИ ТЕПЛА И К. П. Д. КОТЕЛЬНОГО АГРЕГАТА

Наибольшей потерей тепла в котельном агрегате является тепло, уносимое уходящими из котла нагретыми дымовыми газами, которые редко имеют температуру ниже 150° С.

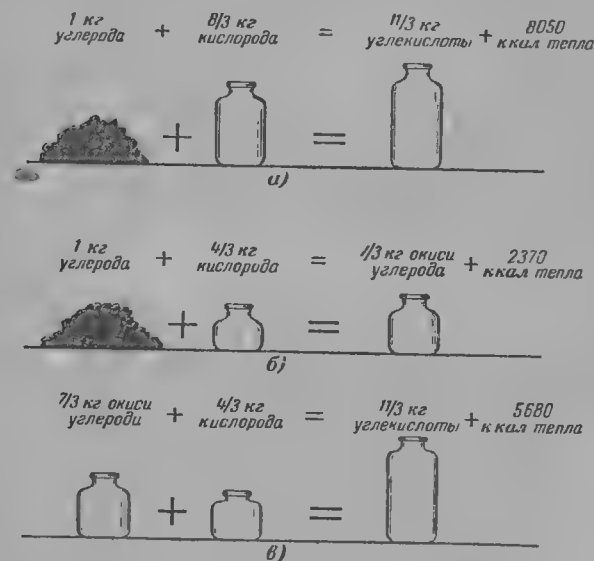
Повышение температуры дымовых газов на каждые 15—20° С снижает к. п. д. котла примерно на 1%. Тепло уходящих дымовых газов «вылетает в трубу» в прямом смысле этого слова. У современных котлов большой производительности с уходящими газами теряется 7—10% всего тепла, содержащегося в топливе, поступающем в топку. Эта потеря возрастает при загрязнении поверхностей нагрева котла золой или сажей, так как при этом затрудняется передача тепла воде, пару или воздуху.

Потери тепла в паровом котле зависят также от количества воздуха, поступающего в котельный агрегат. На фиг. 2-3 показано количество кислорода, которое необходимо для полного сгорания углерода, содержащегося в топливе. Для каждого топлива известно, сколько процентов по весу содержится в нем каждого из трех горючих элементов — углерода, водорода и серы. Зная это, можно сравнительно просто подсчитать теоретическое количество кислорода, необходимого для полного сгорания 1 кг топлива. Но кислорода в воздухе находится 21% (по объему), остальные 79% объема воздуха состоят из азота и незначительного количества других газов. Следовательно, подводя кислород, необходимый для сжигания 1 кг топлива, одновременно приходится подводить еще почти в 4 раза большее количество азота и иных газов, не участвующих в горении. Отсюда можно подсчитать теоретически необходимое количество воздуха, требующееся для сжигания 1 кг топлива.

Однако подача в топку только такого количества воздуха, которое теоретически требуется для полного сгорания топлива, оказывается недостаточной. Всегда приходится учитывать неизбежное неполное перемешивание топлива и воздуха, из-за чего отдельные воздушные струи уходят из топ-

ки, не участвуя в сжигании топлива. Воздух необходимо подавать в топку с некоторым избытком; чем совершеннее конструкция топки и горелок, иными словами, чем лучше перемешиваются в них воздух и топливо, тем меньше может быть избыток воздуха.

Коэффициентом избытка воздуха в топке называется число, показывающее, во сколько раз весовое



Фиг. 2-3. Схема процесса горения углерода.

а — полное сгорание углерода; б — сжигание углерода при недостатке воздуха; в — догорание окиси углерода.

количество действительно подаваемого в топку воздуха больше количества воздуха, теоретически необходимого для горения. Для котлов большой производительности коэффициент избытка воздуха в топке составляет при правильной ее работе 1,20—1,25.

Коэффициент избытка воздуха нельзя поддерживать слишком большим. Излишний и ненужный для горения воздух проходит вместе с дымовыми газами через весь котел, создает дополнительную нагрузку дутьевым вентиляторам и дымососам и, уходя в дымовую трубу, уносит с собой часть тепла, выделившегося при сжигании топлива. Поэтому необходимо автоматически (или вручную) непрерывно регу-

лизовать подачу в котел воздуха с тем, чтобы не допускать слишком большого уменьшения или чрезмерного увеличения его избытка.

Коэффициент избытка воздуха можно определить по данным газового анализа. Для расчета нужно знать максимальное для данного топлива содержание углекислоты в дымовых газах. Пусть, например, известно, что наибольшее содержание углекислоты в дымовых газах равно 19,6%. В действительности содержание в них углекислоты равно, например, 17,2%. Коэффициент избытка воздуха в этом случае будет равен $\frac{19,6}{17,2} = 1,14$.

Второй по величине является потеря тепла вследствие того, что топливо не всегда сгорает полностью. Несгоревшие частицы топлива падают в холодную воронку и удаляются вместе со шлаком либо уносятся дымовыми газами из котла. Тепло, которое они могли бы выделить при сгорании, теряется безвозвратно и называется потерей от механического недожога.

На всех крупных электростанциях систематически проверяют содержание горючих в уносе, т. е. процентное содержание несгоревших твердых частиц топлива в золе, которая вылетает из котла в потоке дымовых газов и в шлаке, удаляемом из топки. Для учета потери тепла со шлаком определяют содержание горючих в шлаке. Содержащие горючих в уносе и шлаке стремятся по возможности уменьшить.

Третьим видом потери тепла является потеря от химического недожога топлива, т. е. та часть тепла топлива, которая теряется с уходящими из котла несгоревшими газами.

Содержавшийся в топливе углерод может сгорать по-разному. В топке он обычно сгорает в углекислоту (углекислый газ). При этом каждый килограмм углерода выделяет 8050 ккал тепла.

Иной характер имеет горение при недостатке воздуха. Тогда образуется не углекислота, а другой газ — окись углерода, называемый также угарным газом. При таком неполном сгорании каждый килограмм углерода выделяет только 2370 ккал (фиг. 2-3).

Окись углерода может догореть, образуя углекислоту и выделяя дополнительное количество тепла. Но если окись углерода выходит из котла не догорев, то от сжигания

1 кг углерода используется не 8050 ккал, а лишь 2370 ккал тепла.

Кроме окиси углерода, в уходящих из котла дымовых газах иногда содержится небольшое количество водорода, метана и других газов, которые также могли бы выделить тепло, если бы они сгорели.

При сжигании большей части углей общая потеря от механического и химического недожога обычно не превышает 1% всего тепла топлива. Эта потеря увеличивается до 4—5% при сжигании антрацита и других трудновоспламеняемых топлив, причем, в основном, тепло теряется от механического недожога. Потерю тепла от химического недожога учитывают преимущественно при сжигании мазута и горючих газов.

Четвертым видом потери тепла является потеря в окружающую среду.

Часть тепла теряется через обмуровку котла и его изоляцию и затрачивается на нагревание окружающего воздуха. Действие этого тепла отчетливо ощущается в верхней части котла; количественно потеря тепла в окружающую среду сравнительно невелика и у котлов большой производительности обычно не превышает 0,5%. Эта потеря возрастает, когда на наружных трубопроводах, газопроводах и воздухопроводах отсутствуют изоляция.

Перечисленные четыре вида потерь тепла — с уходящими газами, с химическим и механическим недожогом и в окружающую среду — являются основными для собственно котла (фиг. 2-4). Кроме того, сравнительно небольшое количество тепла уходит с продувочной водой, при утечке воды и пара через разные неплотности и из-за различных других причин. К непроизводительным потерям следует отнести и затрату тепла топлива, сжигаемого при растопке котла.

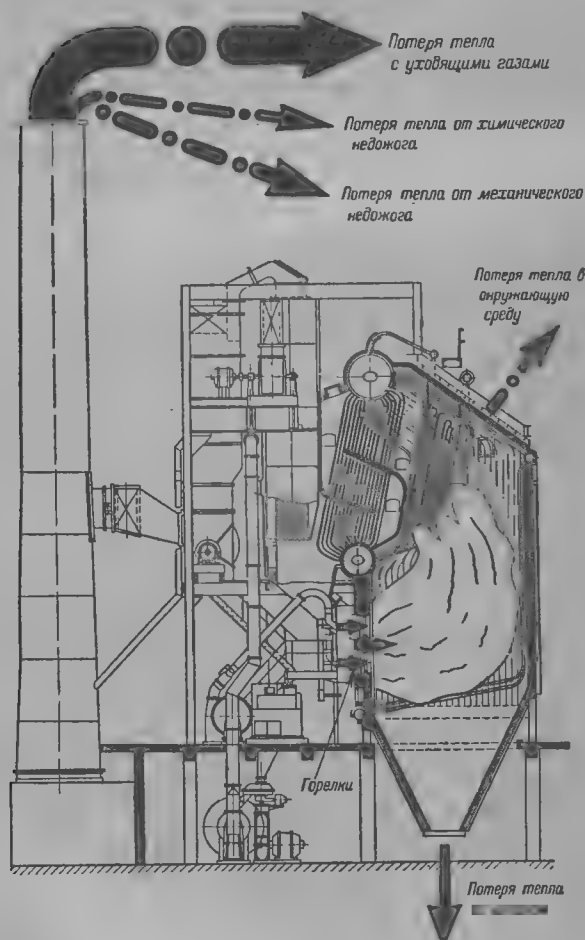
Коэффициентом полезного действия котла называется число, показывающее, какая часть тепла, вводимого с топливом в котел, используется в нем полезно.

У котлов большой производительности вода и пар поглощают обычно 85—90% тепла, выделяемого при сгорании топлива. Остальные 10—15% тепла топлива непроизводительно теряются. Чем более совершенна конструкция котла, тем меньший процент тепла расходуется бесполезно.

Пример. Под котлом паропроизводительностью 150 т/час сжигается в час 20000 кг угля, имеющего низшую теплотворную способность 5500 ккал/кг. Следовательно, каждый час в топку вводится

$20\,000 \cdot 5\,500 = 110$ млн. ккал тепла. Вода входит в котел с температурой 150°C , с теплосодержанием 152 ккал/кг. Выходящий из котла пар имеет температуру 450°C и теплосодержание 795 ккал/кг. Следовательно, каждый килограмм воды получает в котле $795 - 152 = 643$ ккал. Количество тепла, содержащегося в паре, составляет:

$$643 : 150\,000 = 96,5 \text{ млн. ккал.}$$



Фиг. 2-4. Потери тепла при сжигании топлива.

Часть тепла топлива, превращенная в электроэнергию и возвращаемая в котельную для привода в движение различных механизмов, на схеме не показана.

Следовательно, в котле полезно используется

$$\frac{96,5}{110} \cdot 100 = 88\%$$

тепла, выделившегося при сжигании топлива.

Следовательно, в рассмотренном примере к. п. д. котла составляет 88%.

Подсчитанный таким способом к. п. д. котла называется к. п. д. брутто. От него отличается к. п. д. нетто, в котором учитывается также тепло, расходуемое на выработку электрической энергии, которая затрачивается на работу вентиляторов, углеразмольных мельниц и других обслуживающих котел механизмов. Коэффициент полезного действия нетто котлов большой производительности примерно на 2—3% меньше, чем к. п. д. брутто.

Одной из важнейших задач машиниста котла является обеспечение устойчивого и экономичного сжигания топлива. Каждая десятая доля процента топлива, расходуемого в течение восьмичасовой вахты, составляет для современного котла большой производительности не менее нескольких сот килограммов. От работников электростанции, в том числе и от вахтенного персонала котельного цеха, зависит экономия многих тонн топлива ежедневно.

Еще более внимательно должен следить машинист котла за устойчивостью топочного режима. Нельзя допускать пульсации факела, «хлопков» газов в топочной камере, шлакования и других ненормальностей. Совершенно недопустимыми являются «обрыв факела» и прекращение горения в топке.

При освоении новых котлов желательный режим работы топки иногда достигается лишь после длительной наладки, а в отдельных случаях — даже после переделки оборудования. Особенно трудно наладить топочный режим при сжигании трудновоспламеняемого топлива — антрацита или тощего угля. Даже незначительное на первый взгляд изменение режима работы может дать неожиданный по своим результатам эффект. Для того чтобы не ощупью, а планомерно находить лучшие условия работы котла, нужно прежде всего отчетливо представлять себе, как происходит сжигание топлива в топочной камере. Поэтому, знакомясь с различными механизмами и конструкциями топочного оборудования, одновременно нужно изучать основные особенности самого процесса горения.

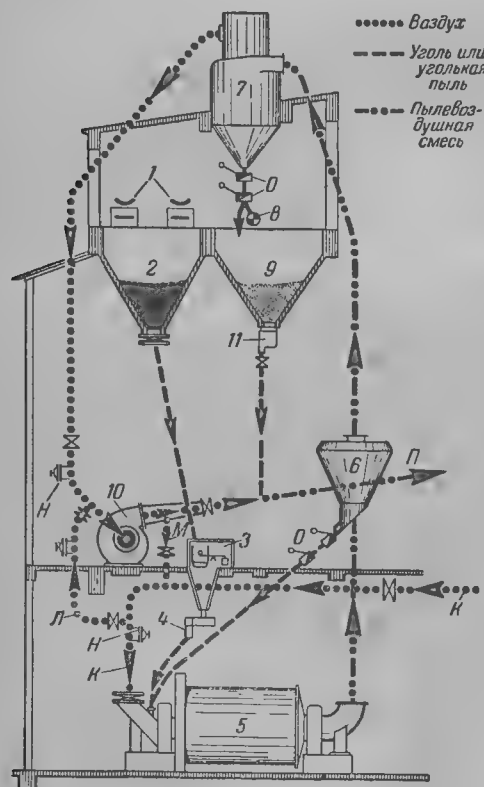
Сжигание топлива состоит из следующих стадий, происходящих последовательно: подготовки топлива, происходящей в основном вне топочной камеры, воспламенения и горения. Способы подготовки и сжигания топлива рассмотрены в гл. 3, 4 и 5.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ ПЫЛЕПРИГОТОВЛЕНИЕ

3-1. УГЛЕПОДАЮЩИЕ МЕХАНИЗМЫ

На фиг. 3-1 в упрощенном виде показана схема пылеприготовительной установки на электростанции, сжигающей АШ. Обычно каждый котел большой производительности оборудуется двумя такими установками.

Вдоль котельного цеха расположены транспортеры сырого угля 1, условно показанные на схеме в разрезе. Они представляют собой гибкие бесконечные ленты, движущиеся по роликам и несущие на себе уголь. Особый механизм сбрасывает топливо в бункеры сырого угля 2 каждого из котлов. Емкость бункера должна обеспечить работу котла в течение нескольких часов.



Фиг. 3-1. Схема пылеприготовительной установки. 1 — транспортеры сырого угля; 2 — бункер сырого угля с шибером; 3 — автоматические ковшевые весы; 4 — питатель сырого угля; 5 — шаровая углеразмольная мельница; 6 — сепаратор угольной пыли; 7 — пылевой циклон; 8 — пылевой шнек; 9 — промежуточный пылевой бункер; 10 — мельничный вентилятор; 11 — пылепитатель; К — трубопровод горячего воздуха от воздухоподогревателя; Л — подача горячего воздуха к мельничному вентилятору; М — линия рециркуляции воздуха в мельничной системе; Н — клапан для подсоса наружного воздуха; О — автоматическая мигалка; П — пылепроводы к пылеугольным горелкам котла.

Под бункером имеется шибер, который закрывают при длительной остановке котла. Топливо самотеком выходит из бункера, проходит через автоматические весы 3 или через не показанную на схеме обводную течку помимо весов. Затем топливо питателем сырого угля подается в шаровую углеразмольную мельницу 5.

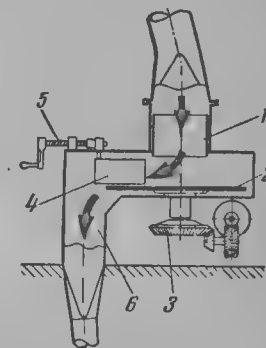
Основное внимание при обслуживании углеподающих механизмов уделяется обеспечению подачи топлива в мельницы равномерным потоком. Учет потребляемого топлива производится путем его взвешивания на автоматических весах.

При размоле АШ обычно устанавливают ковшевые весы, в которых ковш висит на двух коромыслах уравновешенных с другой стороны гири. Из нижней части угольной течки топливо встряхивающим механизмом высыпается в ковш почти равномерным потоком. После заполнения ковш опускается и опрокидывается. Встряхивающий механизм на это время останавливается. Из ковша топливо поступает в небольшой бункер над питателем. Под действием веса гирь ковш поднимается и снова начинает заполняться углем.

На фиг. 3-2 показана схема дискового питателя сырого угля. Топливо поступает на вращающийся диск 2, откуда сбрасывается ножом 4 в течку 6, ведущую к мельнице. Количество проходящего через питатель топлива изменяется поворотом ножа 4 вручную или автоматически. Кроме того, подачу топлива можно уменьшить, опуская телескопическую трубу 1 над диском 2.

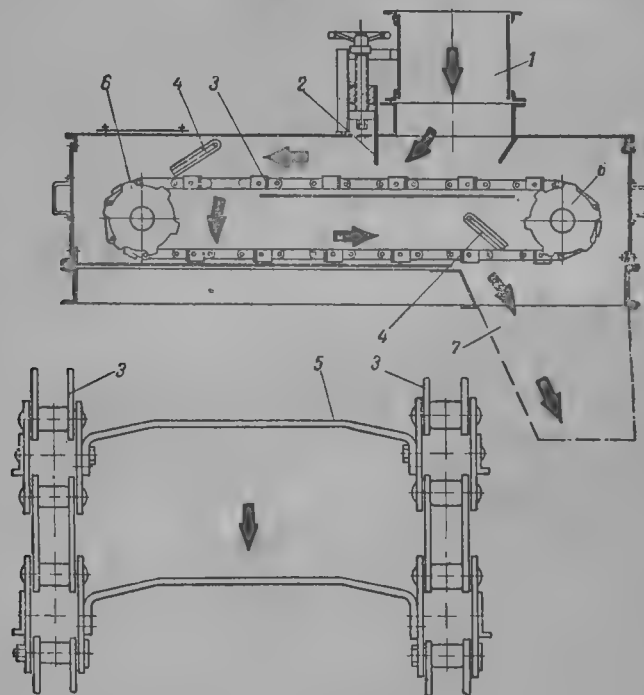
Равномерная подача в мельницу топлива с большим содержанием влаги обеспечивается ленточным питателем, у которого уголь движется по бесконечной ленте, перемещающейся по роликам. К ленточному питателю обычно устанавливают ленточные автоматические весы.

В последние годы большое распространение получили скребковые питатели (фиг. 3-3). По схеме они подобны ленточным питателям, но вместо гибкой ленты имеются две цепи 3, между которыми расположены скреб-



Фиг. 3-2. Схема дискового питателя сырого угля. 1 — телескопическая труба, опусканием которой уменьшают подачу угля; 2 — вращающийся диск; 3 — привод диска; 4 — поворотный нож; 5 — привод ножа; 6 — углеотводящая течка. Стрелками показано направление движения топлива.

ки 5. Подача топлива регулируется изменением подъема пожа 2. Топливо совершает в питателе сложный путь. Сначала оно движется с верхними скребками (на фиг. 3-3 налево), затем перед поворотными колесами 6 высыпается на



Фиг. 3-3. Схема работы скребкового питателя угля.

Внизу отдельно показан участок цепи.

1 — углеприемный патрубок; 2 — нож, регулирующий толщину слоя топлива; 3 — цепь; 4 — встряхиватель; 5 — скребок, жестко соединенный к двум цепям; 6 — зубчатое колесо (справа на чертеже) с приводом от электродвигателя; 7 — углевыдающий патрубок, по которому топливо направляется к мельнице.

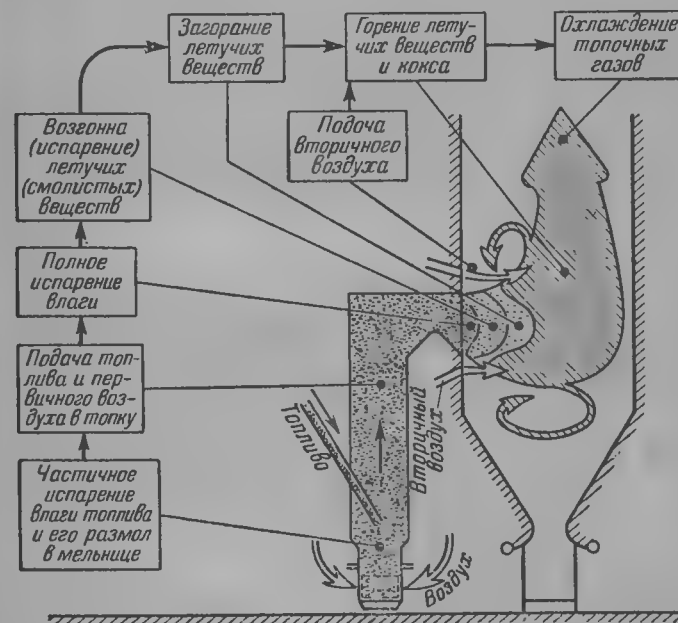
Стрелками показано направление движения угля.

нижние скребки и движется в обратном направлении по пути, указанному на схеме стрелками.

Конструкции углеразмольных мельниц весьма разнообразны. В СССР наибольшее распространение для размол мягких топлив, т. е. топлив, обладающих хорошей размолоспособностью, получили шахтные мельницы.

3-2. СХЕМА ПЫЛЕПРИГОТОВЛЕНИЯ С ШАХТНЫМИ МЕЛЬНИЦАМИ

На фиг. 3-4 схематически и условно изображена шахтная мельница, в которую по наклонной течке поступает топливо, а с торцов подводится горячий воздух. Далее, схематически показано, как топливо подается в топку и в виде факела сгорает внутри топочной камеры. Слева и сверху



Фиг. 3-4. Схема работы топки с размол топлива в шахтной мельнице.

указано наименование отдельных этапов процесса горения; стрелками обозначена их последовательность.

Первичная обработка топлива начинается немедленно по вступлении его в вертикальный короб над мельницей — мельничную шахту. Падая, в потоке горячего воздуха, топливо нагревается и часть содержащейся в нем влаги испаряется. Подсушка топлива продолжается при его размол в мельнице. Выделяющиеся при подсушке водяные пары поднимаются в шахте вместе с воздухом и пылевидным топливом.

Первый этап подготовки к горению, происходящий до вступления топлива в топку, заключается в размол топлива и почти одновременной его начальной подсушке.

Работа шахтной мельницы (так же как и мельниц других типов) не ограничивается размол топлива. Над мельницей и отчасти в ней самой происходит начальная подсушка топлива, чем значительно облегчаются условия горения его в топочной камере. Это с особой ясностью выявляется в случаях, когда топливо имеет повышенную влажность.

Вторым этапом является подача топлива в топочную камеру. Как правило, пылевидное топливо дувается в топку потоком воздуха. Важнейшую роль здесь играет тщательность перемешивания с воздухом всех пылинок, что в дальнейшем способствует более быстрому зажиганию топлива.

Если бы, например, шахтная мельница была расположена у самой амбразуры (выходного отверстия в шахте), угольная пыль входила бы в топку, недостаточно перемешавшись с воздухом, что затруднило бы зажигание угля.

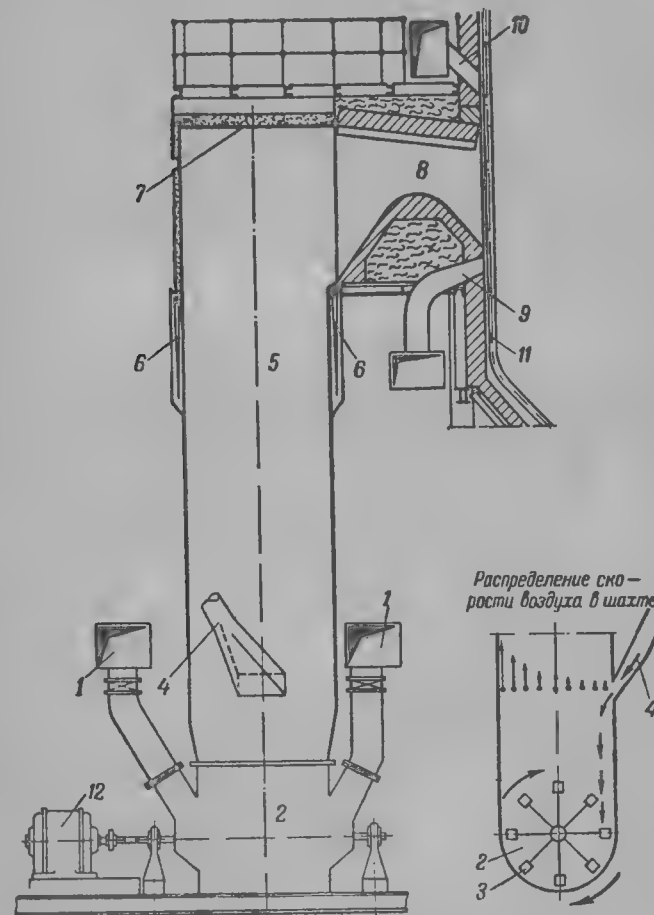
Более подробная схема устройства шахтной мельницы изображена на фиг. 3-5. Топливо из питателя (на чертеже не показан) подается к мельнице по течке 4. Размол производится стальными билами 3, которые, вращаясь на валу со скоростью 600 или 730 об/мин, разбивают падающее топливо при ударе; частично происходит истирание его в пространстве между торцом била и броней корпуса мельницы.

У большинства мельниц горячий воздух подается через коробки 1 в торцах корпуса. Топливо поступает примерно на 1—1,5 м выше мельницы, и начальная подсушка его происходит еще до начала размола. Если горячий воздух или применяемая иногда смесь воздуха и горячих топочных газов недостаточно обеспечивают начальную подсушку топлива, то влажный уголь налипает на била и «замазывает» мельницу; производительность мельницы уменьшается.

Потоком воздуха измельченное топливо поднимается в вертикальную мельничную шахту 5. Часть крупных кусков выбрасывается билами с такой силой, что они ударяются о верхнюю плиту 7 и снова падают в мельницу. Другие крупные куски возвращаются вниз, не долетев до верха шахты.

Таким образом, простая вертикальная шахта с верхней горизонтальной плитой играет весьма ответственную роль. Там происходит отделение крупных частиц от готового продукта размола (с е п а р а ц и я готовой для сжигания пыли).

Неоднократно поднимался вопрос о том, что отделение тонкой пыли происходит в мельничной шахте весьма несовершенен. Воздух частично возвращается в мельницу. В его нисходящем потоке (фиг. 3-6, а) уносится в мельницу некоторое количество вполне готовой пыли, которая подвергается дополнительному и излишнему размолу. Таким образом,

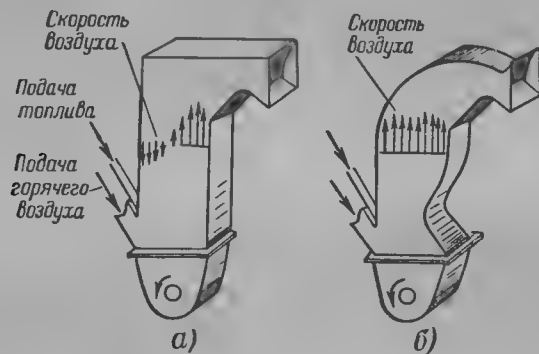


Фиг. 3-5. Упрощенная схема устройства шахтной мельницы для котла большой производительности.

Справа — схема подачи топлива и вращения бил мельницы.
1 — короб первичного воздуха; 2 — мельница; 3 — ротор мельницы с билами;
4 — течка подачи топлива; 5 — мельничная шахта; 6 — отключающий шибер;
7 — верхняя плита; 8 — амбразура; 9 — нижняя шлица; 10 — верхняя шлица; 11 — труба фреоновая экрана; 12 — электродвигатель.

часть пыли переизмельчается, а некоторая ее часть, поднимаясь в зоне наибольшей скорости воздуха, входит в топку при слишком грубом помоле.

Для улучшения распределения воздуха в мельничной шахте ей придают форму, показанную на фиг. 3-6,б, либо помещают в ней жалюзийную решетку. Однако у большинства шахтных мельниц удовлетворительные показатели работы могут быть достигнуты и без этих переделок.



Фиг. 3-6. Форма мельничной шахты котла, работающего на фрезерном торфе.
а — до переделки; б — после переделки.

В средней по высоте части шахты устанавливают отключающий шибер 6 (фиг. 3-5), который закрывают при необходимости осмотра мельницы без остановки котла (например, для смены бил). Обычно шиберы делают поворотными, с применением привода с червячной передачей.

Отключающие шиберы шахтных мельниц в ряде случаев быстро корродируют и искривляются, что объясняется их слишком высоким расположением, при котором в остановленной мельнице шиберы обогриваются из топки лучистым теплом факела. Иногда шиберы заклиниваются вследствие коробления от нагрева верхней части шахты. При неплотных шиберах открытие корпуса для ремонта мельницы является опасным для обслуживающего персонала. Приходится работать в брезентовых костюмах, рукавицах и масках, без которых возможны ожоги при выбывании пламени в момент сильной пульсации факела в топке. Без специального костюма и маски подходить к открытому корпусу мельницы запрещается.

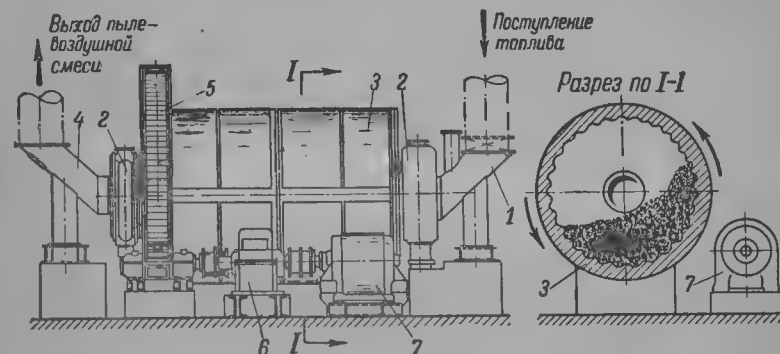
Большая плотность отключающих шиберов достигается, если их поместить в нижней части шахты, в которой нет обогрева от излучения топочного факела.

В верхней части шахты пылевоздушная смесь делает поворот и через амбразуру входит в топочную камеру.

3-3. СХЕМА ПЫЛЕПРИГОТОВЛЕНИЯ С ШАРОВЫМИ БАРАБАНЫМИ МЕЛЬНИЦАМИ

Подготовка топлива в шаровых барабанных мельницах производится подобно тому, как это было описано для шахтных мельниц. Подсушка топлива также начитается в месте, где уголь попадает в поток горячего воздуха. Испарение влаги продолжается в барабане шаровой мельницы. При подаче топлива в топку через горелку должно быть обеспечено тщательное перемешивание пыли и воздуха.

Размол топлива происходит внутри горизонтального барабана 3 (фиг. 3-7), вращающегося со скоростью около



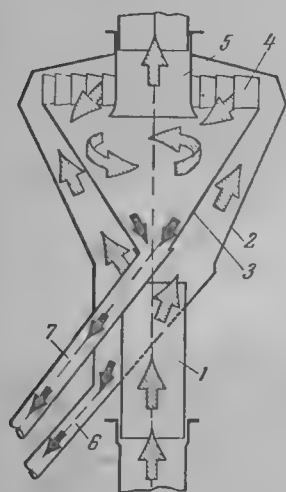
Фиг. 3-7. Шаровая углеразмольная мельница.

Справа схематически показано расположение шаров в работающей мельнице при полной загрузке шарами барабана.
1 — входной патрубок; 2 — подшипник; 3 — барабан мельницы; 4 — выходной патрубок; 5 — привод (крышка кожуха над зубчатым колесом привода условно не показана); 6 — редуктор; 7 — электродвигатель.

20 об/мин. Внутри барабана засыпают от 20 до 39 т стальных шаров, имеющих обычно диаметр 30—40 мм. Топливо предварительно подсушивается потоком горячего воздуха, входящего в мельницу по трубопроводу 1, а затем внутри мельницы происходит его размол шарами, которые при этом постепенно истираются. Горячий воздух, отдавая часть тепла на подсушку топлива, охлаждается и выходит из мельницы с температурой 60—90° С, а при размол антрацита, где не приходится опасаться взрыва угольной пыли, — при температуре до 130° С. Выходя из барабана мельницы, воздух выносит образующуюся в мельнице угольную пыль.

На фиг. 3-1 изображено, как в мельницу 5 отдельно подаются топливо и горячий воздух. Из мельницы выходит пылевоздушная смесь, которая поднимается и снизу вверх проходит через сепаратор угольной пыли 6.

Как показано на фиг. 3-8, сепаратор угольной пыли состоит из двух, вставленных один в другой стальных конусов. Пылевоздушная смесь из нижнего патрубка 1 поступает сначала в кольцевое пространство между наружным 2 и внутренним 3 конусами. Скорость потока уменьшается, и наиболее крупные пылинки ссыпаются вниз в точку 6, возвращающую их в мельницу. В верхней части сепаратора пылевоздушная смесь проходит через завихряющие лопатки 4 и поступает во внутреннюю часть конуса 3. При вихревом движении внутри этого конуса также происходит выделение из потока крупных частиц пыли, которые отводятся из сепаратора по течке 7, соединенной внизу с течкой 6. Освобожденная от крупных частиц пылевоздушная смесь выходит из сепаратора через пылевыдающий патрубок 5. На фиг. 3-1 показана наклонная течка возврата крупной пыли из сепаратора 6 в мельницу 5 с двумя мигалками *O* (иногда ставят три мигалки).



Фиг. 3-8. Схема работы сепаратора угольной пыли.

Заштрихованными стрелками показано направление движения пылевоздушной смеси. Черными стрелками — движение крупной пыли, возвращаемой в мельницу. 1 — патрубок для подачи пыли; 2 — наружный конус; 3 — внутренний конус; 4 — завихряющие лопатки; 5 — пылевыдающий патрубок; 6 — течка возврата крупной пыли из наружного конуса; 7 — течка возврата крупной пыли из внутреннего конуса.

Из сепаратора пылевоздушный поток поднимается в пылевой циклон 7 (фиг. 3-1).

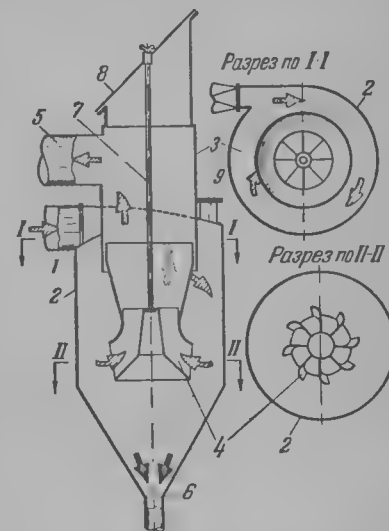
Необходимость сепаратора угольной пыли вызвана особенностью шаровой мельницы выдавать угольную пыль с различным размером отдельных пылинок.

Тонкость помола угольной пыли проверяется путем просеивания ее через сита определенных размеров и взвешивания остатка пыли на этих ситах. Но в оставшейся на сите данного размера крупной пыли может находиться различное количество очень крупных пылинок, которые не

успевают собраться в топке котла. Таких очень крупных пылинок будет при одинаковом помоле больше в пыли, полученной в шаровой барабанной мельнице, чем в пыли, получаемой в шахтной мельнице. Поэтому при размоле топлива в шахтных мельницах можно допускать помол, характеризуемый более высоким остатком угольной пыли при просеивании ее на сите данного размера.

Пылевой циклон служит для отделения угольной пыли от воздуха. Основная масса пылинок выходит из циклона снизу и, пройдя через две мигалки *O*, поступает в промежуточный пылевой бункер 9 (фиг. 3-1). При необходимости угольную пыль можно направить в пылевой шнек 8, которым она транспортируется в бункеры соседних котлов.

Схема работы пылевого циклона показана на фиг. 3-9. Пылевоздушная смесь входит в циклон по горизонтальному патрубку 1 и вихревым потоком движется внутри наружного цилиндра 2. Затем через лопатки 4 поток входит во внутренний цилиндр 3, из которого выходит через патрубок 5. При правильной работе в циклоне отделяется из пылевоздушной смеси около 85% топлива; наиболее мелкая пыль вместе с воздухом проходит через мельничный вентилятор 10 (фиг. 3-1) и затем по пылепроводам *П* направляется к пылеугольным горелкам (на фиг. 3-1 горелки не показаны).



Фиг. 3-9. Схема работы пылевого циклона.

1 — входной патрубок; 2 — наружный цилиндр; 3 — внутренний цилиндр; 4 — лопатки; 5 — выходной патрубок; 6 — отвод выделившейся угольной пыли; 7 — стяжной болт; 8 — центральный предохранительный взрывной клапан; 9 — предохранительный клапан на наружном цилиндре.

Под пылевым бункером 9 (фиг. 3-1) находятся пылепитатели 11, подающие угольную пыль из бункера в пылепроводы *П*. Таким образом, пыль, выделившаяся из воздушного потока в циклоне, и пыль, прошедшая через циклон вместе с воздухом, снова соединяются в пылепроводах *П*.

Выделение угольной пыли в циклоне значительно ухудшается, когда расположенные под ним мигалки *O* (фиг. 3-1)

оказываются неплотными и через них засасывается наружный воздух.

В течение длительного времени наблюдался очень быстрый износ лопаток мельничных вентиляторов котлов производительностью по 150 т/час, работавших на АШ. Одновременно было обращено внимание на то, что пылепитатели обеспечивали полную производительность котла при наименьшем числе оборотов. Это затрудняло регулирование подачи угольной пыли при сниженной нагрузке котлов.

Перечисленные ненормальности весьма усложняли эксплуатацию котлов, но их причина была легко исправима. Оказалось, что виной всему был подсос наружного воздуха в пылевые циклоны через неплотные мигалки. Засасываемый воздух препятствовал оседанию угольной пыли в нижней части циклонов и поступлению пыли в промежуточный бункер. Большая часть пыли выходила из верхней части циклонов вместе с воздухом и подавалась мельничными вентиляторами (что вызывало их преждевременный износ). В таких условиях пылепитателям нужно было подавать в топку не 85—90% угольной пыли, а менее 50%, т. е. работать с недопустимо малой загрузкой.

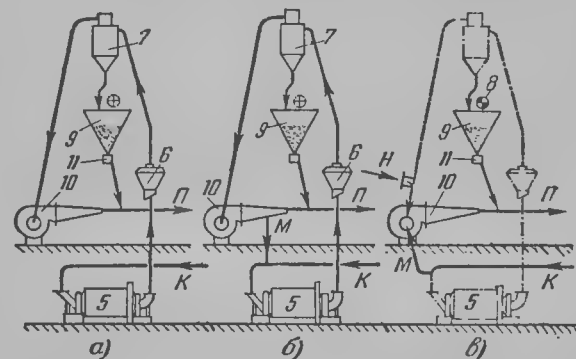
Некоторая сложность пылеприготовительной установки с шаровыми барабанными мельницами и промежуточными пылевыми бункерами оправдывается, однако, удобством обслуживания котлов.

В эксплуатации находится ряд пылеприготовительных установок, выполненных по более простой схеме, без циклонов и промежуточных бункеров. Пылевоздушный поток из сепаратора поступает в мельничный вентилятор и затем по пылепроводам направляется к пылеугольным горелкам котла. Эта более простая схема не получила широкого распространения вследствие того, что расход электроэнергии на размол топлива в шаровой барабанной мельнице практически не зависит от ее загрузки топливом и изменяется только в зависимости от веса загруженных шаров. Поэтому в установках с шаровыми барабанными мельницами при временном снижении нагрузки котла целесообразно не уменьшать производительность мельниц, а вырабатывать угольной пыли больше, чем потребляют котлы, подавая пыль в промежуточные бункеры, а при их заполнении останавливать на некоторое время одну из мельниц. При такой схеме несколько уменьшается расход электроэнергии на собственные нужды котельного цеха, в особенности при работе котлов с переменной нагрузкой.

Горячий воздух, проходящий через систему пылеприготовления, подсушивает топливо во входном патрубке мельницы, для чего предпочитают угли с большим содержанием влаги вводить не в углеприемный патрубок мельницы, как показано на фиг. 3-1, а в вертикальную часть воздухопро-

вода K над отключающей задвижкой. Количество горячего воздуха, требуемого для подсушки топлива, контролируется машинистом котла и регулируется в соответствии с изменением влажности угля.

Воздух, поступающий в систему пылеприготовления, используется не только для подсушки топлива: он должен также продувать барабан мельницы и выносить из нее угольную пыль. Количество воздуха, требуемое для венти-



Фиг. 3-10. Основные схемы работы пылеприготовительных устройств с шаровыми мельницами.

Обозначения те же, что на фиг. 3-1.
а — работа без рециркуляции; б — работа с рециркуляцией части запыленного воздуха по трубопроводу M ; в — работа с остановленной мельницей. Перерабатываемые элементы оборудования обозначены условным пунктиром.

ляции мельничного барабана, не всегда равно количеству воздуха, требуемого для предварительной подсушки угля.

На фиг. 3-10,а изображена наиболее простая схема работы мельничного оборудования, когда одно и то же количество воздуха сушит топливо, вентилирует мельницу и, пройдя через все элементы пылеприготовления, направляется к пылеугольным горелкам.

Вторая схема работы системы пылеприготовления, показанная на фиг. 3-10,б, применяется в тех случаях, когда на сушку топлива требуется меньше горячего воздуха, чем для вентиляции мельницы и других элементов пылеприготовления. К горячему воздуху нужно, следовательно, добавлять холодный воздух, неспособный подсушивать уголь. Это достигается открытием линии рециркуляции M , через которую часть воздуха, пройдя через сепаратор 6, пылевой циклон 7 и мельничный вентилятор 10, снова возвращается в мельницу 5.

На фиг. 3-10,в изображена третья схема работы пыле-приготовительных устройств, когда мельница 5 остановлена и подача угольной пыли в топку производится из промежуточного бункера 9 через пылепитатели 11. Мельничный вентилятор 10 подает в пылепроводы воздух, необходимый для подачи угольной пыли к горелкам. Часть воздуха поступает в мельничный вентилятор через открытый клапан Н из помещения котельной. Другую часть составляет горячий воздух, поступающий через трубопровод К и линию М подачи горячего воздуха к вентилятору.

Помимо режимов, показанных на схемах фиг. 3-10, возможен также режим работы, когда количество воздуха, подсушивающего топливо в мельнице, больше, чем количество воздуха, которое должно проходить через пылеугольные горелки. Тогда часть воздуха, выходящего из мельничного вентилятора, сбрасывается в топку помимо горелок.

Пылепитатели. Бесперебойная и устойчивая работа топочной камеры в значительной мере зависит от работы питателей пыли. Питатели должны подавать пыль равномерно и при необходимости изменять в требуемых пределах свою производительность.

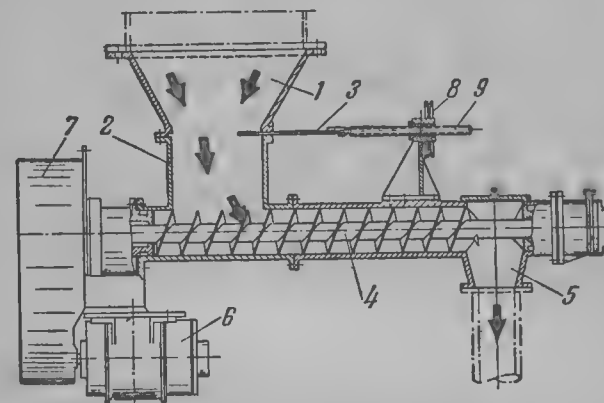
Изменение подачи угольной пыли производят только изменением числа оборотов питателей пыли. Регулирование подачи топлива шиберами ненадежно и может привести к застреванию пыли в промежуточном бункере. У хорошо работающего питателя пыли производительность возрастает почти пропорционально числу оборотов.

На электростанциях СССР наибольшее распространение получили лопастные и шнековые питатели пыли. Шнековые питатели проще в изготовлении и ремонте, однако они не всегда обеспечивают необходимую равномерность подачи топлива.

Схема работы шнекового пылепитателя показана на фиг. 3-11. Угольная пыль из промежуточного бункера проходит через пылеприемный патрубок 1 и попадает в горизонтальный цилиндр, в котором вращается винт — шнек 4, приводимый в движение от электродвигателя постоянного тока 6. Шнек проталкивает угольную пыль в другой конец горизонтального цилиндра, откуда пыль удаляется через выходной патрубок 5. Отключение шнекового питателя пыли при ремонте производят горизонтальной заслонкой 3, через цепное колесо 8, соединенное с винтом 9.

Произведенные исследования показали, что неравномерная подача пыли шнековым питателем имеет место при

малом числе оборотов шнека. Именно поэтому наибольшая пульсация пламени в топке наблюдается при сжигании высококалорийных топлив, когда шнековые питатели подают сравнительно небольшое количество пыли и работают на малом числе оборотов.

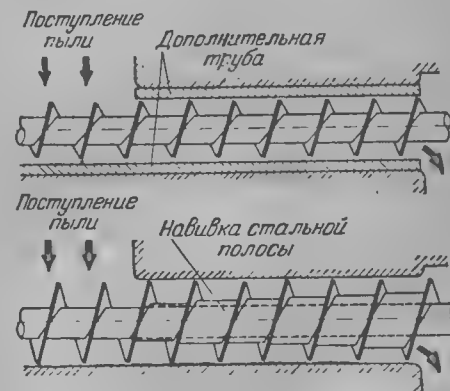


Фиг. 3-11. Схема шнекового питателя пыли.

1 — пылеприемный патрубок; 2 — корпус питателя; 3 — отключающая заслонка; 4 — шнек; 5 — выходной патрубок; 6 — электродвигатель; 7 — кожаная передача движения от электродвигателя к шнеку; 8 — цепное колесо для привода отключающей заслонки; 9 — винт отключающей заслонки.

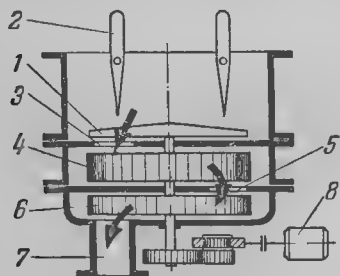
На ряде электростанций производилась переделка питателей пыли различными способами. Для снижения их производительности уменьшали высоту винтовой нарезки шнека и вставляли в цилиндрическую часть корпуса трубу (фиг. 3-12), уменьшая этим диаметр шнека со 150 до 100 мм. ЦКТИ рекомендует установку на пылевыводящем конце шнека дополнительного лопастного колеса, которое регулирует подачу угольной пыли и уменьшает пульсацию.

На фиг. 3-12 изображена также переделка шнека посредством наивки справа стальной полосы, чтобы некоторой прессовкой угольной пыли добиться более равномерного ее движения вдоль шнека.



Фиг. 3-12. Схема переделки шнека питателя пыли.

Многие электростанции, сжигающие антрацит и тощий уголь, заменили шнековые питатели пыли питателями лопастного типа, в которых обеспечивается более равномерная подача топлива. Упрощенная схема такого питателя показана на фиг. 3-13. На вертикальном валу одновременно вращаются два лопастных колеса 4 и 6, разделенных перегородкой с окном 5. Угольная пыль непрерывно взрыхляется ворошителем 1 и попадает через верхнее окно 3 на верхнее лопастное колесо. Лопастные этого колеса переносят пыль в противоположную сторону питателя, где через второе окно 5 пыль просыпается на ниж-



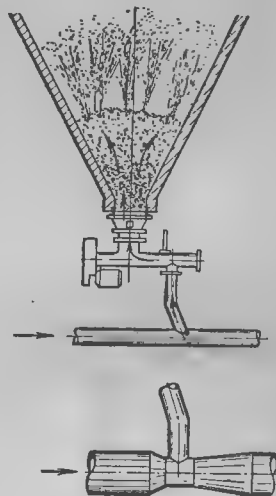
Фиг. 3-13. Схема работы лопастного питателя пыли.

1 — ворошитель; 2 — отключающие шнеки; 3 — верхнее отверстие; 4 — подающее лопастное колесо; 5 — среднее отверстие; 6 — мерительное лопастное колесо; 7 — выходной патрубок угольной пыли; 8 — электродвигатель.

нее лопастное колесо, снова переносится горизонтально на полоборота и через патрубок 7 выходит из питателя пыли.

Удовлетворительная равномерность подачи угольной пыли любыми питателями возможна лишь при большой высоте слоя пыли в промежуточном бункере. При малой высоте слоя воздух из пылепроводов начинает выдувать пыль в обратном направлении (фиг. 3-14). Через шнековые питатели воздух проходит легче, поэтому над ними нужно сохранять более высокий слой пыли, чем над лопастными питателями.

Давление воздуха в месте подачи пыли в пылепровод уменьшают путем сужения на небольшом участке сечения пылепровода (фиг. 3-14, внизу).



Фиг. 3-14. Выбивание воздуха в промежуточный бункер при малой высоте слоя угольной пыли.

Внизу — местное сужение пылепровода для уменьшения выбивания воздуха вверх.

Сравнивая пылеприготовительные установки с шахтными и шаровыми барабанными мельницами, следует отметить, что приготовление пыли в шахтно-мельничных устройствах имеет ряд преимуществ по сравнению с приготовлением пыли в установках с шаровыми мельницами. Значительно снижается стоимость и вес металла, затрачиваемого на изготовление оборудования и примерно вдвое уменьшается расход электроэнергии на помол топлива. Шахтные мельницы не применяются в следующих случаях:

1. При сжигании антрацита и тощих углей, обладающих малым выходом летучих, когда требуется более тонкий помол, чем тот, который можно получить в шахтных мельницах (в шаровых мельницах такой помол вполне достижим).

2. При сжигании очень твердых топлив (т. е. трудно размалываемых), когда чрезмерно увеличивается износ бил (увеличение износа шаров в шаровых мельницах менее ощутимо).

Донецкий антрацит обладает не только плохой воспламеняемостью, но и плохой размолоспособностью, следовательно, его размол в шахтных мельницах был бы неприемлем по обоим показателям. Но шаровые барабанные мельницы приходится применять и для размола некоторых легко воспламеняющихся топлив. Таков, например, кизеловский каменный уголь, имеющий около 35% летучих, но относящийся к наиболее твердым топливам в СССР.

3-4. ВЗРЫВООПАСНОСТЬ УГОЛЬНОЙ ПЫЛИ

Угольная пыль при определенных условиях является опасной в отношении образования взрыва.

Взрывоопасной считается пыль всех топлив, кроме антрацита и полуантрацита, но наибольшую опасность представляют торфяная пыль и пыль, получающаяся при размоле углей с количеством летучих больше 25% на горючую массу топлива.

Взрыв угольной пыли может произойти при наличии двух условий:

а) если имеется очаг воспламенения пыли, которым обычно является отложение пыли на каком-либо уступе или горизонтальном участке трубопровода; при продолжительном лежании пыль начинает тлеть и самовозгорается;

б) взрыв возможен при определенной концентрации пыли в воздухе. Наиболее взрывоопасной является пыле-

воздушная смесь, в которой на каждый килограмм воздуха приходится 0,3—0,6 кг топлива. При работе мельничной системы в обычных условиях количество топлива на каждый килограмм воздуха либо лежит в этих пределах, либо несколько превышает их.

Пылеприготовительная установка не должна иметь горизонтальных участков, где мог бы образоваться очаг тлеющей угольной пыли. Температура воздуха за шаровой мельницей при размоле взрывоопасного угля не должна быть выше указанного для данного топлива предела, поскольку при более высокой температуре взрыв становится более вероятным. Строго запрещается оставлять в работе мельницу после прекращения подачи в нее топлива, так как содержание пыли в воздухе уменьшается до наиболее опасного значения, одновременно возрастает температура воздуха за мельницей и угольная пыль пересушивается. Взрыв в это время может возникнуть даже от искры, получающейся при ударе друг о друга мельничных шаров.

При строгом соблюдении действующих правил взрывобезопасности возможна надежная работа пылеприготовительных установок без взрывов угольной пыли.

Согласно правилам взрывобезопасности на всех пылеприготовительных установках, кроме работающих на антраците и полуантраците, устанавливают взрывные предохранительные клапаны. При взрыве угольной пыли предохранительные клапаны разрываются.

Известны случаи, когда из-за отсутствия предохранительных клапанов или, если эти клапаны по какой-либо причине не могли разорваться, происходил разрыв пылепроводов, пылевых сепараторов и циклонов с выходом из строя всей пылеприготовительной установки на длительное время. Поэтому, хотя предохранительные клапаны действуют очень редко, они должны находиться в полной готовности во все время работы установки.

Плотность предохранительных клапанов нужно проверять ежемесячно, так как через неплотные клапаны засасывается наружный воздух, резко ухудшающий условия работы всей пылеприготовительной установки и создающий опасность взрыва пыли.

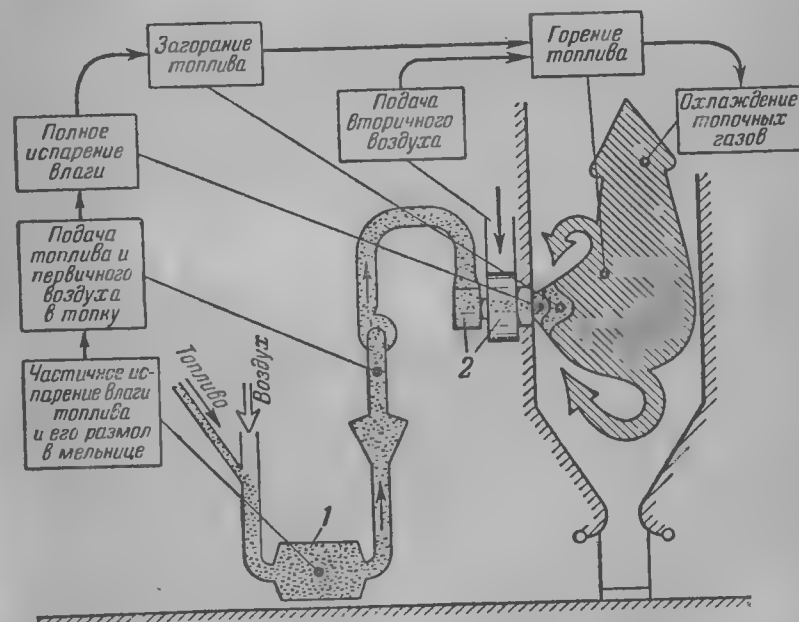
Совершенно недопустима подача пыли в топку после обрыва факела и прекращения горения. Это может привести к взрыву пыли в топочном объеме, а иногда — к еще более тяжелому по своим последствиям взрыву в помещении котельного цеха.

Во время работы двух котлов остановилось вспомогательное оборудование из-за неисправности электрической проводки электродвигателей. Машинист одного из этих котлов не отключил питатели пыли и мельничный вентилятор. Когда снова был дан ток, неотключенный вентилятор начал захватывать угольную пыль в неработающую топку при остановленных дымососах. Через короткое время пылевоздушная смесь стала выходить из топки через лючки и гляделки. При вспышке в топочной камере произошел взрыв в помещении котельной и дымососной.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ СЖИГАНИЕ ПЫЛЕВИДНОГО ТОПЛИВА

4.1. ВОСПЛАМЕНЕНИЕ И ГОРЕНИЕ ПЫЛЕВИДНОГО ТОПЛИВА

На фиг. 4-1 показана схема сжигания угольной пыли, полученной в шаровой барабанной мельнице. При поступлении в топочную камеру топлива и воздуха вначале происходит прогрев их, в результате чего испаряется оставшаяся в топливе влага. При дальнейшем нагревании из топлива выделяются летучие вещества и происходит их воспламе-



Фиг. 4-1. Схема сжигания пыли АШ в топке с турбулентными горелками.

1 — шаровая барабанная мельница; 2 — турбулентные горелки.

нение. Если летучих в топливе много, то сгорание их обеспечивает дальнейший разогрев топлива и воздуха и воспламенение остальной, более инертной, части топлива (кокса). Такое течение процесса в установке с шахтной мельницей показано на схеме фиг. 3-4. В антраците или в тощем угле содержание летучих веществ невелико, поэтому при сжигании тощего угля горение летучих дает лишь часть тепла, необходимого для зажигания кокса. Еще больше тепла должно быть подведено для зажигания антрацита.

Основное требование, необходимое для воспламенения топлива, можно сформулировать так: для устойчивого зажигания топлива необходим быстрый разогрев вступающей в топку пылевоздушной смеси до высокой температуры. Необходимая для зажигания температура различна для отдельных видов топлив. Она должна быть тем выше, чем меньше в топливе летучих веществ. Но высокий начальный разогрев обязателен при сжигании всех видов топлива.

На схеме фиг. 4-1 зажигание 3—4% летучих, находящихся в антраците, не выделено. Здесь уместно говорить о зажигании всего топлива.

Для быстрого устойчивого подогрева топлива до высокой температуры необходимо обеспечить предварительную подсушку топлива, раздельную подачу первичного и вторичного воздуха, высокий подогрев воздуха и мощное вихревое движение пылевоздушных потоков в топке.

Подсушка топлива. Чем больше подсушено топливо в пылеприготовительном устройстве до его вступления в топку, тем легче произвести его подогрев внутри топочной камеры. Особенно тщательно нужно следить за предварительной подсушкой топлива с большим содержанием влаги и трудновоспламеняемых.

Когда предварительная подсушка недостаточна, в топке наблюдаются пульсирующее пламя и периодическое потемнение факела. Иногда пульсация дополнительно увеличивается из-за неравномерной работы питателей пыли на слишком влажной угольной пыли.

Контроль за влажностью пыли производится химической лабораторией электростанции. Содержание влаги не должно превышать значений, установленных инструкцией для сжигания данного вида топлива.

Раздельная подача первичного и вторичного воздуха. Из вводного в топку воздуха только часть подается вместе с топливом и нагревается внутри топки до момента воспламенения топлива. Этот воздух называется первичным.

Остальное количество воздуха (называемого вторичным) вдувается в топку таким образом, чтобы он смешивался с факелом, т. е. после зажигания основной массы частиц топлива.

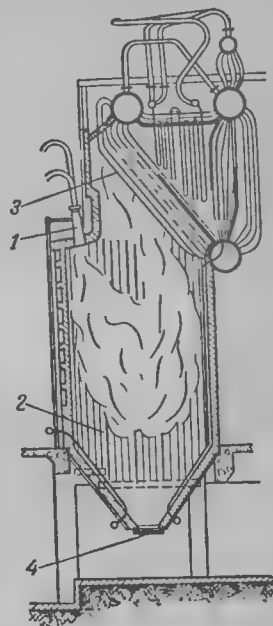
Для начального подогрева первичного воздуха нужно подвести лишь часть тепла, требующегося для нагревания всего воздуха. Поэтому при сжигании трудновоспламеняемых топлив стремятся по возможности уменьшить количество первичного воздуха и тем довести подогрев его до более высокой температуры. При сжигании антрацита и тощих углей в качестве первичного вводится 20—30% всего воздуха, при сжигании бурых углей — до 50%.

Подогрев зоны воспламенения. Процесс подогрева топлива и первичного воздуха до высокой температуры можно значительно ускорить, если обеспечено достаточно мощное вихревое движение в топке и если часть горячей угольной пыли возвращается в зону воспламенения. Это условие осуществляется по-разному в топочных камерах различной конструкции.

В топке, показанной на фиг. 4-2, пылевоздушная смесь входит в топочную камеру сверху, движется вниз и затем поворачивает кверху. Вторичный воздух подается через щели на фронтальной стене.

Практика показала, что такая схема мало эффективна. Вблизи зоны зажигания происходит унос по кратчайшему пути вверх части несгоревших пылинкок топлива. К тому же обогрев пылевоздушной смеси производится лишь с одной стороны. В СССР такие топки были переделаны на более совершенные.

Зажигательный пояс. При сжигании трудновоспламеняемых топлив — антрацита, тощего угля и фрезерного торфа с большим содержанием влаги, указанные три условия быстрого воспламенения топлива недостаточны. В этих

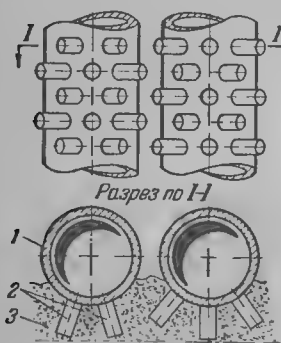


Фиг. 4-2. Трехбарабанный котел с топкой с U-образным факелом.

1 — горелка; 2 — боковой экран; 3 — кипяtilьные трубы; 4 — шлаковый затвор.

случаях нужно подвести к зажигаемому топливу большое количество тепла и поэтому охлаждение зоны воспламенения экранными трубами недопустимо. Для повышения температуры факела приходится покрывать часть поверхности экранов зажигательным поясом. Выгорание или разрушение такого пояса приводит к тому, что факел в зоне воспламенения охлаждается и зажигание топлива становится менее устойчивым.

До 1951—1952 гг. повсеместно устанавливали зажигательный пояс из фасонного кирпича, который навешивали на экранные трубы.



Фиг. 4-3. Схема устройства зажигательного пояса на ошипованных экранных трубах.

1 — экранная труба; 2 — шипы; 3 — хромитовая обмазка.

В течение многих лет такой зажигательный пояс считался наиболее совершенным. Другие конструкции — чугунные и карбундовые плиты и различные торкретные обмазки — распространения не получили, хотя электростанции, сжигающие антрацит и тощие угли, должны были мириться с существенным недостатком зажигательного пояса — его недолговечностью, из-за чего паровые котлы приходилось через каждые 3—6 недель останавливать для возобновления выгоревших участков. Но недостатки такого зажигательного пояса не ограничивались необходимостью его периодического обновления. Часть времени котлы работали с частично выгоревшим поясом, из-за чего возрастала потеря от механического недожога топлива.

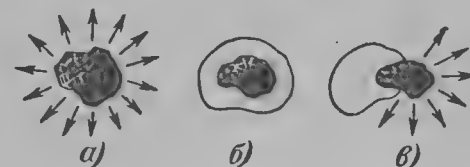
В последние годы передовые советские электростанции, а затем и котлостроительные заводы стали применять зажигательные пояса новой конструкции. К экранным трубам приваривают изображенные на фиг. 4-3 шипы, а затем ошипованную поверхность труб покрывают хромитовой обмазкой. Часть тепла отводится через шипы к трубам, и обмазка не может чрезмерно перегреваться. Опыт показал, что такой пояс может стоять без обгорания и обновления очень долго. Можно не опасаться ежемесячного ухудшения показателей работы топki. Переход к ошипованным зажигательным поясам является новым шагом по пути повышения надежности и экономичности работы паровых котлов на электростанциях, сжигающих АШ.

Сгорание топлива. Полнота сгорания пылевидного топлива зависит от следующих условий:

а) От температуры среды, в которой происходит сгорание топлива.

Экранные трубы охлаждают факел снаружи. В топочной камере большого объема ядро факела нагрето до высокой температуры даже при закрытии экранами всех стен топki.

б) От степени перемешивания угольной пыли с воздухом внутри топki. Тщательное перемешивание нужно прежде всего для того, чтобы обеспечить соприкосновение с кислородом воздуха каждой частицы топлива. Нужно учитывать, что объем участвующего в горении воздуха в несколько тысяч раз превышает объем сжигаемого топлива.



Фиг. 4-4. Схема горения пылинки топлива в топочной камере.

а — по всей поверхности пылинки происходит соединение топлива с кислородом воздуха; б — вокруг пылинки образовалась оболочка продуктов сгорания и горение прекратилось; в — при быстром движении пылинки освобождается от оболочки продуктов сгорания, горение пылинки возобновляется.

Кроме того, перемешивание горящих пылинок и вихревое движение их в топке способствуют отрыву инертного слоя продуктов сгорания, который образуется на поверхности начавших гореть пылинок (фиг. 4-4) и который препятствует дальнейшему горению.

Разделение воздуха на первичный и вторичный производится не только с целью улучшения процесса зажигания. Вторичный воздух подается с таким расчетом, чтобы его поток мог увеличить скорость движения пылинок и улучшить перемешивание. Почти всегда вторичный воздух подает с более высокой скоростью, чем первичный. Тщательное перемешивание пыли с воздухом достигается обычно только вблизи зоны зажигания. Хорошее начальное перемешивание обычно достаточно для полного или почти полного выгорания топлива.

Как правило, угольная пыль с воздухом входит в топку горизонтально и при сгорании увлекается факелом вверх. Поворот факела на 90° способствует ускорению реакции горения и является одним из способов перемешивания пыли с воздухом.

4.2. ТОПКИ С ШАХТНЫМИ МЕЛЬНИЦАМИ

Важнейшее условие — перемешивание пыли и воздуха — обеспечивается в топках с шахтными мельницами тем, что вторичный воздух входит в топку с большой скоростью, в несколько раз превышающей скорость первичного воздуха. В большинстве установок вторичный воздух вдувается в топку через несколько наклонных щелей (шлиц), расположенных выше и ниже каждой амбразуры. В зависимости от расположения эти щели называются верхними и нижними шлицами.

Вторичный воздух, выходящий через щели, проникая в поток пылевоздушной смеси, способствует перемешиванию пыли с воздухом и ускоряет горение. Скорость входа в топку вторичного воздуха желательна не ниже 20 м/сек.

Подача воздуха через верхние и нижние щели оказывает различное влияние на процесс горения. Воздух, вдуваемый через нижние щели, предотвращает выпадение из факела крупных несгоревших частиц топлива. Кроме того, иногда нижняя подача воздуха препятствует чрезмерному опусканию факела в холодную воронку и ее шлакованию. При шлаковании холодной воронки желательно увеличение дутья через нижние щели.

Воздух, подаваемый через верхние щели, способствует опусканию факела. Особо полезно верхнее дутье в тех случаях, когда нужно понизить температуру перегретого пара или уменьшить шлакование первого пучка кипятильных труб. Чаще всего это требуется при работе котла с полной нагрузкой, поэтому использование верхних щелей имеет наибольшее значение при форсировке котла.

Не всегда, однако, открытие верхних и нижних щелей приносит пользу. Если вторичный воздух входит в топку с малой скоростью, он плохо перемешивается с пылевоздушной смесью и почти не участвует в горении. Такой режим работы приводит к ухудшению горения топлива и увеличению недожога иногда на 2—4%. Поэтому часто считают полезным закрывать полностью верхние или нижние щели при малой нагрузке котла, когда общее количество вторичного воздуха должно быть невелико.

При подаче воздуха через щели (шлицы), их нужно открывать полностью или почти полностью с тем, чтобы обеспечить большую скорость выхода из них воздуха.

Несмотря на перемешивающее действие верхнего и нижнего вторичного воздуха, горение в топке с шахтными мельницами протекает относительно медленно. Ядро факела

обычно смещается к задней стене (фиг. 4-5). Иногда это приводит к шлакованию заднего ската холодной воронки. Удержать ядро горения в центральной части топки иногда удается подачей части воздуха через заднюю стену, на которой устанавливаются дополнительные щели.

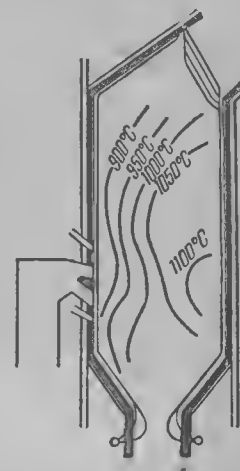
Угол наклона шлиц неоднократно изменяли при наладке котлов. Иногда положительные результаты получались при установке наклонно верхнего свода амбразуры (фиг. 3-5), что способствовало перемещению вниз ядра горения.

Необходимое для воспламенения вихревое движение газов в топке и омывание факелом места входа пылевоздушной смеси достигаются различными путями.

На фиг. 4-6 показаны три схемы работы шахтно-мельничной топки. На схемах а и б показана старая конструкция, когда пылевоздушная смесь входит в топку широким потоком. Возврат факела к зоне зажигания (область 5 на схемах) невелик. Особенно мало горящих газов возвращается в зону зажигания в схеме а, где вихревому движению факела препятствует присос холодного воздуха через шлаковый бункер. Для таких топок даже при сжигании легковоспламеняющихся бурых углей характерно неравномерное, пульсирующее пламя.

В более поздней конструкции (фиг. 4-6, в) поток пылевоздушной смеси разделен на две части горизонтальным рассекателем. Этим обеспечивается вихревое движение в пространстве между верхним и нижним потоками и более быстрое и устойчивое зажигание топлива. Практика показала, что установка рассекателей в амбразурах шахтно-мельничных топок дала возможность значительно уменьшить пульсацию факела в топке. Зона воспламенения приблизилась к амбразурам. Возросла устойчивость работы котлов при пониженной нагрузке.

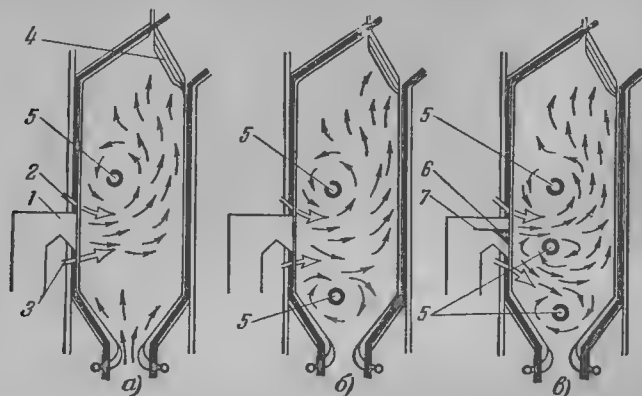
Иногда перед рассекателем ставят горизонтальный шибер, позволяющий регулировать положение ядра горения в топке.



Фиг. 4-5. Распределение температуры внутри топки с шахтными мельницами при сжигании фрезерного торфа.

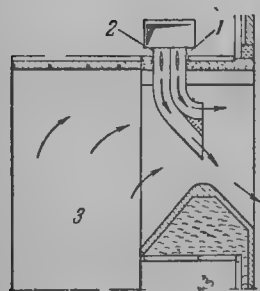
Котел работает с полной нагрузкой; ядро горения смещено к задней стене топки.

При сжигании фрезерного торфа обычно часть воздуха вдувается в топку через шлаковый бункер. Этим предотвращается выпадение из факела негоревших частиц топлива.



Фиг. 4-6. Схема расположения факела в топке с шахтными мельницами.

а — при подсосе холодного воздуха через шлаковый бункер; б — при отсутствии такого подсоса, но без раскателей в амбразурах; в — при наличии раскателей. 1 — амбразура; 2 — верхние шлицы; 3 — нижние шлицы; 4 — фланец; 5 — места наибольшего завихривания топочных газов; 6 — раскатель в амбразуре; 7 — горизонтальный шибер перед раскателем.



Фиг. 4-7. Эжекционная горелка.

1 — верхние эжекционные сопла; 2 — нижние эжекционные сопла; 3 — мельничная шахта.

длительном лежании угольная пыль тлеет, самовоспламеняется и может стать очагом мгновенного воспламенения

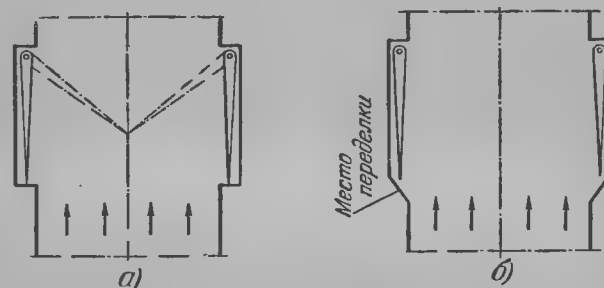
Весьма положительные результаты достигнуты применением эжекционных горелок, в которых сопла для подачи вторичного воздуха расположены внутри амбразур. Такая конструкция (фиг. 4-7), повидимому, способствует лучшему завихриванию газоздушных потоков в топочной камере.

Неполадки в работе топков с шахтными мельницами. Горение топлива в шахте и даже опасный для котла взрыв в ней угольной пыли могут произойти по различным причинам.

Совершенно недопустимы отложения топлива на различных неровностях или выступах в шахте. При

(взрыва) пыли во всем объеме. Если в шахте обнаруживаются места, на которых происходит отложение пыли, нужно немедленно переделать соответствующий узел.

Топливо не должно забиваться в щель за отключающим шибером. На фиг. 4-8 схематически показано изменение конструкции «карманов» для шиберов, примененное при работе мельниц на фрезерном торфе. Нельзя допускать пыления топлива через неплотности в питателях, течках и т. д. Места пыления нужно тщательно уплотнять асбестовой массой или другими способами.



Фиг. 4-8. Установка шиберов в мельничной шахте при работе мельниц на фрезерном торфе.

а — до переделки; б — после переделки. Условным пунктиром шиберы показаны в закрытом положении.

Загорание топлива в мельничной шахте может произойти и по другой причине. Если пылевоздушная смесь движется с очень малой скоростью, то горение переносится в шахту через амбразуру из топочной камеры.

Количество первичного воздуха регулируется машинистом котла обычно по температуре в мельничной шахте. Во избежание взрыва температура в шахте по действующим правилам взрывобезопасности должна быть не больше:

- 130° С — при сжигании каменного угля
- 100° С — при сжигании бурого угля
- 80° С — при сжигании фрезерного торфа.

Если топливо поступает в мельничную шахту с пониженной влажностью, то на его подсушку затрачивается меньше тепла и воздух выходит в топку с более высокой температурой. Для понижения температуры пылевоздушной смеси в шахте машинист котла уменьшает подачу воздуха и тем самым уменьшает его скорость в амбразуре. Это может привести к переносу горения в шахту. Скорость воздуха

в амбразуре ЦКТИ рекомендует выбирать не менее 4 м/сек.

При неоднократном переносе горения в шахту следует в кратчайшее время остановить котел и нарастить амбразуры горелок с тем, чтобы увеличить в них скорость воздуха.

Пульсация факела в топке иногда значительно затрудняет работу персонала. Периодическое выбивание пламени делает опасной расшлаковку котла, смену бил у шахтных мельниц и даже наблюдение через лючки за положением факела. Иногда во избежание выбивания пламени приходится замуровывать большую часть лючков в стенах топки. Причины пульсации факела могут быть различны. Большей частью периодические вспышки пламени в топке объясняются тем, что топливо выходит из амбразур недостаточно подсушенным. Пульсация факела уменьшается, когда удается увеличить подсушку топлива.

Другой причиной возникновения пульсации факела может явиться недостаточное перемешивание пыли с воздухом в топочной камере. Неоднократно удавалось значительно уменьшить пульсацию путем улучшения перемешивания: при установке рассекателей в амбразурах, увеличении скорости вторичного воздуха, ликвидации присоса холодного воздуха из шлакового бункера и т. д.

Увеличение недожога топлива обычно вызывается неправильным регулированием дутья и недостаточным перемешиванием в топке пыли и воздуха. Указанные выше правила регулирования дутья через верхние и нижние шлицы иногда помогают уменьшить недожог. Разрабатывая мероприятия по снижению недожога, нужно стремиться приблизить ядро горения к центральной части топки.

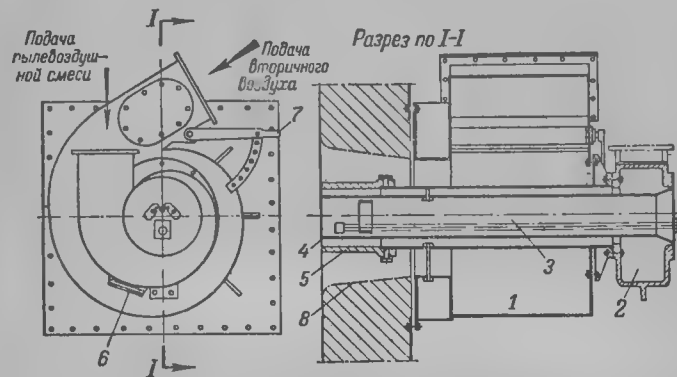
4.3. ТОПКИ С ТУРБУЛЕНТНЫМИ ГОРЕЛКАМИ

На фиг. 4-9 изображена широко распространенная турбулентная пылеугольная горелка ТКЗ. Первичный воздух вместе с топливом входит в улитку 2, где приобретает вихревое движение. Во избежание истирания угольной пылью улитку первичного воздуха обычно делают чугунной. Вторичный воздух завихривается аналогичным образом в улитке 1.

Первичный и вторичный воздух, как правило, направляют в одну сторону: либо оба потока по часовой стрелке, либо против нее.

По оси обеих улиток проходит центральная труба, в которую вставлена растопочная мазутная форсунка.

Вторичный воздух, выходя из улитки, попадает в амбразуру 8, наружная поверхность которой выкладывается кирпичом и исполняется либо цилиндрической, либо, как изображено на фиг. 4-9, конической. В выходном сечении (устье) амбразуры кирпичи стесывают.



Фиг. 4-9. Пылеугольная турбулентная горелка ТКЗ.

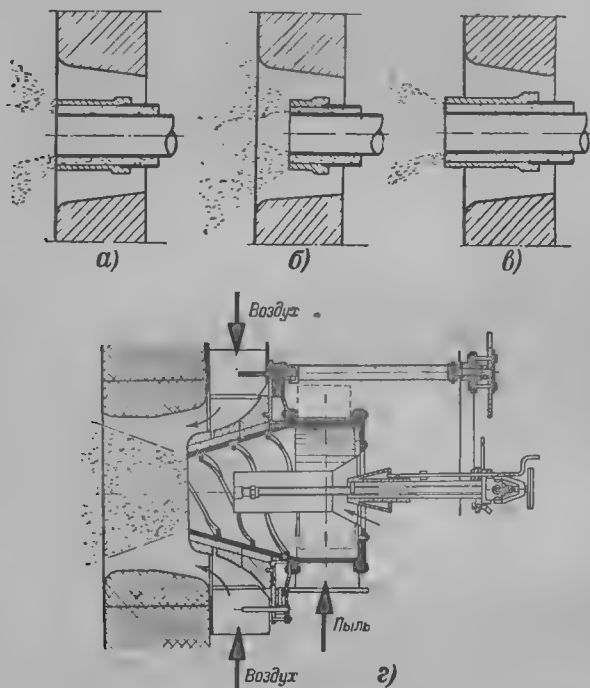
1 — улитка вторичного воздуха; 2 — улитка первичного воздуха; 3 — центральная труба; 4 и 5 — жароупорные накопечники; 6 — люк для очистки улитки первичного воздуха; 7 — рукоятка язычкового шибера (рекомендуется замена этой рукоятки приводом); 8 — кирпичная амбатура горелки.

Первичный воздух направляется через амбразуру меньших размеров внутри амбразуры вторичного воздуха. Обращенный в топку наконечник разделительной трубы делают чугунным или стальным со специальной обработкой (алитированием).

Разделительный патрубок между первичным и вторичным воздухом должен доходить до устья амбразуры. Укорочение или, что чаще бывает, обгорание его (фиг. 4-10,б) ухудшает работу горелок, особенно при сжигании АШ и тощих углей.

В котлах ТКЗ-120/150 с турбулентными пылеугольными горелками, расположенными на боковых стенах топочной камеры, горение пыли АШ было совершенно неудовлетворительным. Факел удавалось поддерживать только тогда, когда топка работала под положительным давлением. Пламя темнело и обрывалось, как только в топочной камере создавалось разрежение. Сжигать топливо можно было лишь при почти полном отсутствии избытка воздуха в топке. Увеличение подачи воздуха приводило к быстрому потемнению факела и во избежание его обрыва машинисты должны были прикрывать дутье. Из-за этого потеря от механического недожога достигала 8—10%.

Условия сжигания АШ на этих котлах совершенно изменились после небольшой переделки пылеугольных горелок. Разделительные патрубки между пылевоздушной смесью и дополнительным (вторичным) воздухом (фиг. 4-10,б) были удлинены до устья амбразур. Сразу исчезли недостатки, которые в течение нескольких лет затрудняли работу всей электростанции. Горение стало устойчивым при наличии разрежения в топочной камере. Недожог топлива резко уменьшился. Оказалось возможным повысить нагрузку котлов.



Фиг. 4-10. Правильная *а* и неправильные *б* и *в* формы разделительного патрубка между первичным и вторичным воздухом в горелке ТКЗ; *г* — конструкция пылеугольной горелки ЦККБ, подобная горелке *б*. Точками и штрихами показано движение пылевоздушной смеси.

Эффект от наращивания разделительных насадок трудно объяснить, зная описанные выше основные условия воспламенения и горения пылевидного топлива. При укороченном разделительном патрубке перемешивание вторичного воздуха с угольной пылью начинается в глубине амбразуры. Входящая в топку пылевоздушная смесь содержит в себе не только первичный, но и большое количество вторичного

воздуха. Увеличенный объем пылевоздушной смеси труднее подогреть до воспламенения.

Ухудшение работы топки может наступить при обгорании наконечников разделительных патрубков в горелках. Во избежание такого обгорания нужно при выключении горелки подавать через нее немного воздуха для охлаждения.

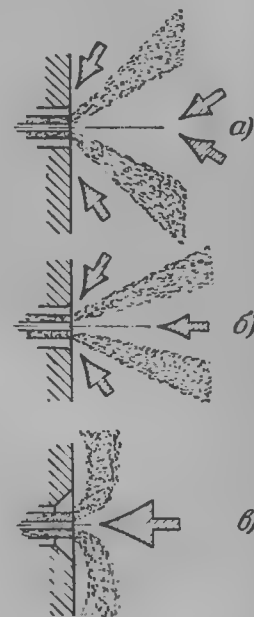
На фиг. 4-11,а показано, как при нормальной форме амбразуры происходит «разворот» факела в топке. Важнейшая особенность турбулентных горелок заключается в том, что пылевоздушная смесь и вторичный воздух расходятся в виде усеченного конуса. Начальный обогрев для воспламенения производится как снаружи этого конуса, так в основном изнутри его.

Если не изменять скорость выхода в топку пылевоздушной смеси, а скорость выхода вторичного воздуха увеличивать, то происходят расширение угла разворота факела и усиление обогрева его центральной части. То же достигается прикрытием «языкового» шибера (фиг. 4-9), когда возрастает завихривание вторичного воздуха.

Уменьшение подачи вторичного воздуха при неизменной подаче первичного или полное открытие «языковых» шиберов у горелок увеличивает дальность факела. Пылевоздушная смесь воспламеняется на большем расстоянии от амбразур горелок.

В табл. 4-1 приведены рекомендации ЦКТИ и ВТИ по выбору скорости первичного и вторичного воздуха при полной нагрузке котла. Для большинства котлов желательны скорости воздуха в горелках, близкие к нижнему пределу указанных в таблице значений.

При переменной нагрузке котла изменять скорость первичного воздуха можно только в узких пределах. Ее уменьшение может привести к забиванию трубопроводов угольной пылью, а увеличение вызывает угрубление помола топлива,



Фиг. 4-11. Схема выхода пылевоздушной смеси из турбулентной горелки.

а — конусообразное раскрытие факела; *б* — то же при большей скорости выхода в топку первичного воздуха и уменьшенной подаче вторичного воздуха; *в* — развернутый факел. Стрелки показывают подсос пламени к зоне зажигания

Важнейшим и неизменным условием устойчивой и экономичной работы топочной камеры является наладка не только работы горелок, но и всей системы пылеприготовления — мельниц, питателей пыли, пылевоздухопроводов и т. д. В этом отношении характерен следующий пример.

При первичном пуске одного из котлов ТП-230-2 на антраците наблюдался отрыв зоны воспламенения топлива от устья амбразур. Сначала это объясняли неплотностью шлакосмывных шахт гидрозолоудаления, но плохое воспламенение продолжалось и после их уплотнения. Попытки уменьшить количество подаваемого первичного воздуха и тем приблизить зону воспламенения к корню факела приводили к забиванию пылепроводов. Первые месяцы факел почти непрерывно приходилось подсвечивать мазутом.

Было измерено количество воздуха, прошедшего через мельничные вентиляторы. Скорость пылевоздушной смеси была на 30% больше, чем по расчету: свыше 30 м/сек в пылепроводах и до 26 м/сек на выходе из горелок. Контрольное измерение показало, что диаметр пылепроводов на участке от мельничных вентиляторов до горелок был равен расчетному, и сначала трудно было понять, почему при высокой скорости все же происходило забивание пылепроводов.

Причина плохой работы топки была установлена после того, как диаметр пылепроводов был измерен в различных местах по их длине. Оказалось, что отдельные отрезки почти во всех пылепроводах имели диаметр в свету 370 мм вместо расчетных 325 мм. В этих участках и происходило отложение пыли, во избежание которого приходилось увеличивать до недопустимых пределов подачу первичного воздуха.

Особое значение при наладке топочного режима имеет уменьшение присоса в топку наружного воздуха. Этот воздух может входить в топочную камеру через неплотности шлакосмывной шахты, через щели в местах прохода сквозь обмуровку нижних концов экранных труб и т. д.

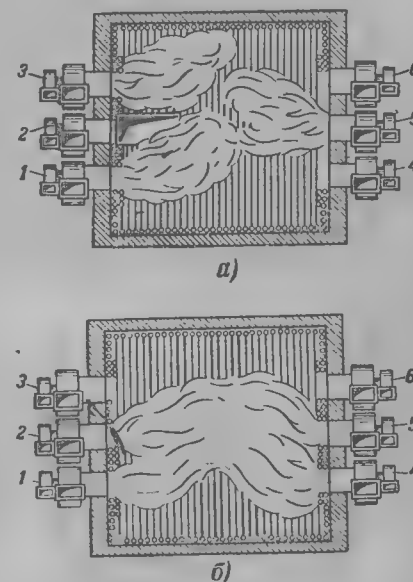
Внутри топки наружный воздух как более холодный опускается в нижнюю часть топочного объема и, охлаждая факел снизу, ухудшает условия зажигания топлива. Особенно сильно сказывается присос наружного воздуха при трудно-воспламеняемых топливах. Можно указать много примеров того, как после ликвидации присоса воздуха горение топлива становилось более устойчивым, пульсация факела прекращалась и при сниженной нагрузке котла можно было устойчиво работать без подсвечивания мазутом.

Для обнаружения присоса в топку наружного воздуха обычно пользуются факелом, получаемым при зажигании пропитанного мазутом или смолой шнурового асбеста, наматанного на толстую проволоку. Такой «факел» проводят вдоль исследуемого уплотнения, отмечая участки, где пламя засасывается внутрь топочной камеры. Небольшие неплотности обычно замазывают на ходу котла.

Нельзя мириться и с присосом наружного воздуха в пылеприготовительную установку. Этот присос вреден не только тем, что он ухудшает условия работы пылеприготовления и может повлечь за собой угрубление помола или увеличение влажности угольной пыли. Его вредное действие сказывается и на топочном режиме. Напомним, что перед мельницей и в самой мельнице происходит сушка топлива горячим воздухом. Присосанный наружный воздух участия в сушке угля, конечно, не принимает и уменьшает за его счет подачу горячего воздуха нельзя. Поэтому присос в пылеприготовительной установке обычно влечет за собой увеличение скорости входа в топку первичного воздуха, что может привести к удлинению и даже обрыву факела. Нежелательно и чрезмерное увеличение сброса в топку присосанного воздуха помимо горелок.

Если котел несет малую нагрузку, то часть пылеугольных горелок должна быть выключена для того, чтобы в работающих горелках сохранялась требуемая скорость первичного и вторичного воздуха. На фиг. 4-13 показаны две схемы работы топки с неполной нагрузкой. На первый взгляд схема а лучше, поскольку при ней из двух мельничных вентиляторов включен только один и, следовательно, достигается небольшая экономия электроэнергии на собственные нужды котельного цеха. Однако при такой схеме работы факел в топке имеет три независимых ядра, мало друг друга подсвечивающих. При схеме б горение более устойчиво и уменьшается недожог топлива, что может несколько компенсировать больший расход электроэнергии. Некоторое уменьшение скорости воздуха вследствие включения четырех, а не трех горелок обычно вполне допустимо.

Обе конструкции турбулентных пылеугольных горелок — типа ОРГРЭС и типа ТКЗ — получили широкое распространение.

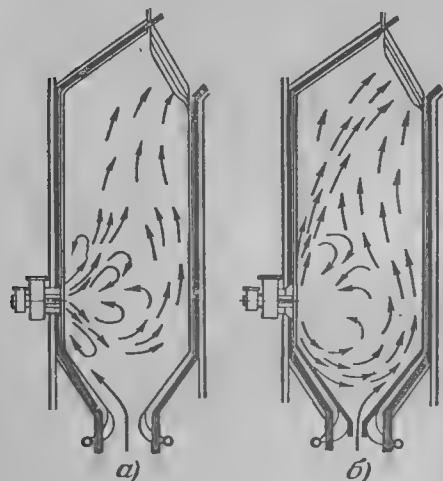


Фиг. 4-13. Схема работы топки котла при малой нагрузке (горизонтальный разрез топки).

а — включены горелки 1, 3 и 5; в топке нет устойчивого ядра факела; б — включены горелки 1, 2, 4 и 6; ядро горения значительно более устойчиво.

Недостатками этих горелок следует считать следующие их особенности:

1. При сжигании трудновоспламеняемых топлив зону воспламенения угольной пыли утепляют установкой зажигательных поясов. Высокий пояс способствует шлакованию и не предотвращает большой потери от механического недожога топлива, достигающей при сжигании антрацита 5% и более.



Фиг. 4-14. Основные формы пылеугольного факела, выходящего из турбулентной горелки.

а — конусообразный факел; б — развернутый факел.

2. Устойчивость воспламенения топлива может сравнительно легко нарушаться. Это происходит, например, в периоды очистки шлаковых бункеров, когда возрастает присос в топку холодного воздуха. При работе котла необходимо систематически следить, чтобы нижние экранные камеры и шлакосмывная шахта были тщательно уплотнены.

Опыт эксплуатации последних лет показал преимущества так называемого развернутого факела. В отличие от старых конструкций горелок, из которых пылевоздушный поток движется в глубину топki в виде конуса, развернутый факел характеризуется тем, что пылевоздушная смесь растекается по стене вокруг горелки и не распространяется в глубину топki. Форму развернутого факела иногда сравнивают с формой вертикально поставленного блюда, в центре которого находится горелка.

На фиг. 4-11,а и 4-14,а изображен конусообразный факел. На фиг. 4-11,б и 4-14,б показан развернутый факел, в котором часть пылевоздушной смеси поднимается по передней стене топki, а другая ее часть опускается, поворачивается в холодной воронке и поднимается у задней стены топочной камеры.

Важнейшее преимущество развернутого факела заключается в том, что при нем обеспечен гораздо больший под-

сос газов из центральной части топki к зоне воспламенения. Этим повышается устойчивость зажигания.

Развернутый факел иногда возникает и при эксплуатации горелок старых типов. Но для его непрерывного действия форму горелок изменяют и выход в топку вторичного воздуха делают в виде конического раструба с углом раскрытия порядка 45°.

Переход к сжиганию антрацита в развернутом факеле требует некоторого изменения конструкции топочной камеры. При конических амбразурах приходится заводить экранные трубы в глубину обмуровки. Значительная часть пылевоздушной смеси опускается в холодную воронку, которая должна быть полностью утеплена зажигательным поясом. На вертикальных стенах, как показал опыт, зажигательный пояс можно уменьшить. Выходное отверстие для шлака внизу холодной воронки также рекомендуется уменьшить.

На фиг. 4-14,б схематически показано, как холодный воздух, входя в топку через шлакосмывную шахту, не соприкасается с основанием факела и не влияет на процесс воспламенения топлива. В шлакосмывную шахту стекает жидкий шлак, который затвердевает под действием разбрызгиваемой воды.

4-4. ТОПКИ С ЩЕЛЕВЫМИ ГОРЕЛКАМИ

Щелевые горелки имеют обычно очень простую конструкцию. Они состоят из щелей первичного воздуха, через которые в топку вдувается пылевоздушная смесь, и из отверстий, через которые выходит вторичный воздух. Расположение щелевых горелок на стенах топki весьма разнообразно. Ниже описаны наиболее распространенные схемы расположения.

1. У котлов ТКП-3 установлено по четыре горелки на каждой из боковых стен топki (фиг. 4-15). В каждой из горелок имеется по две щели первичного воздуха, вставленных в короб вторичного воздуха.

2. Весьма распространенным является расположение горелок по углам топki. Направление струй принимают различным (фиг. 4-16).

В топочной камере остановленного котла производительностью 200 т/час были проведены опыты по изучению действительных условий движения воздуха, выходящего из угловых горелок. В топке были подвешены ленты марли, которые под действием воздуха отклонялись. Оказалось,

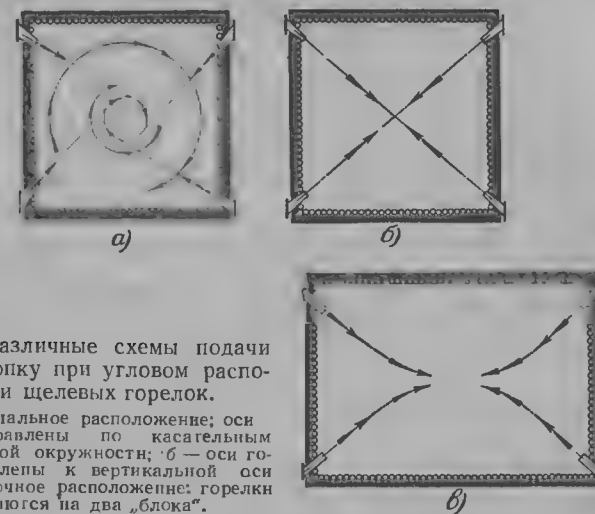
что начальная схема была значительно искажена вследствие неточного центрирования горелок, шлакования их устья и обгорания амбразур. Однако длительный опыт эксплуатации этого котла показал, что при всех этих обстоятельствах устойчивость факела мало изменялась.

Основным условием правильной работы щелевых горелок любой конструкции является обеспечение высокой скорости выхода в топку как первичного, так и вторичного воздуха. Только при скорости того и другого воздуха порядка 30—40 м/сек обеспечивается быстрое зажигание и в то же время достаточно полное перемешивание пыли с воздухом. Уменьшение скорости выхода воздуха из горелок неизменно приводило к потемнению факела и ухудшению горения.

Так, при первичном пуске котла ТКП-3 на буром угле скорость вторичного воздуха была около 20 м/сек. Угольная пыль горела плохо, яркое пламя было только вблизи горелок, средняя часть топки была темной. Горение резко улучшилось после уменьшения вдвое сечения горелок по вторичному воздуху, когда соответственно возросла скорость его выхода в топку.

3. В последние годы в ряде случаев осуществлено двухступенчатое сжигание топлива, при котором вторичный воздух (или большая часть вторичного воздуха) подается в топку значительно выше места ввода пылевоздушной смеси. Как схематически показано на фиг. 4-17, четыре потока первичного воздуха, сталкиваясь в центральной части топки, совершают сложный путь. Образовавшийся факел частично направляется вверх, частично же опускается, а затем поднимается в пространстве между выходящими из углов потоками (в местах А в разрезе I-I фиг. 4-17). Таким образом, пылевоздушная смесь проходит между поднимающимися вверх факелами, имеющими высокую температуру. Топливо легко воспламеняется, что дает возможность уменьшить утепление топки зажигательным поясом при сжигании топлива с малым выходом летучих,

Вторичный воздух входит завихренным потоком, соответствующим схеме а фиг. 4-16.



Фиг. 4-16. Различные схемы подачи воздуха в топку при угловом расположении щелевых горелок.

а — тангенциальное расположение; оси горелок направлены по касательным к воображаемой окружности; б — оси горелок направлены к вертикальной оси топки; в — блочное расположение; горелки разделяются на два „блока“.



Фиг. 4-17. Схема движения газов в топке при двухступенчатом сжигании топлива по методу ВТИ.

Разрез I-I — подача пылевоздушной смеси; разрез II-II — подача вторичного воздуха.

Двухступенчатое сжигание топлива было разработано Всесоюзным теплотехническим институтом (Б. И. Клячко, А. Н. Лебедевым и др.). По данным ВТИ при освоении этого метода сжигания были выявлены его преимущества при применении щелевых горелок по сравнению с расположенными по бокам топки турбулентными горелками, так как оказалось возможным сжигать угольную пыль гораздо более грубого помола и устойчиво работать при сниженной нагрузке.

4-5. МУФЕЛЬНЫЕ ГОРЕЛКИ

Муфельные горелки применяют: а) для растопки котла без мазута либо с минимальным количеством мазута; б) для подсвечивания основного пылеугольного факела при пониженной нагрузке котла или при резко переменном графике работы (муфели постоянного действия).

Первые конструкции муфельных горелок получили широкое распространение в годы Отечественной войны, когда они использовались только для безмазутной растопки котла.

Муфельные горелки постоянного действия появились в послевоенные годы и имеют значительно меньшее распространение.

В муфельной горелке любого типа разогрев топлива происходит внутри выложенной огнеупорным материалом муфельной камеры. Стены камеры либо совсем не охлаждаются, либо охлаждаются мало и горение топлива в муфеле происходит при очень высокой температуре. Процесс горения должен вестись при недостатке воздуха (коэффициенте избытка воздуха меньше единицы). Горение не заканчивается внутри муфеля. Выходящий из муфеля факел должен быть так направлен относительно основного факела, чтобы происходило перемешивание обоих потоков. Кроме правильного расположения, нужно обеспечить достаточную величину муфельного факела для воспламенения или подсвечивания основного факела.

Встроенные растопочные муфельные горелки. Наиболее полно эти условия обеспечены в встроенных муфельных горелках, из которых факел выходит в топку через центральную трубу турбулентной пылеугольной горелки (фиг. 4-18).

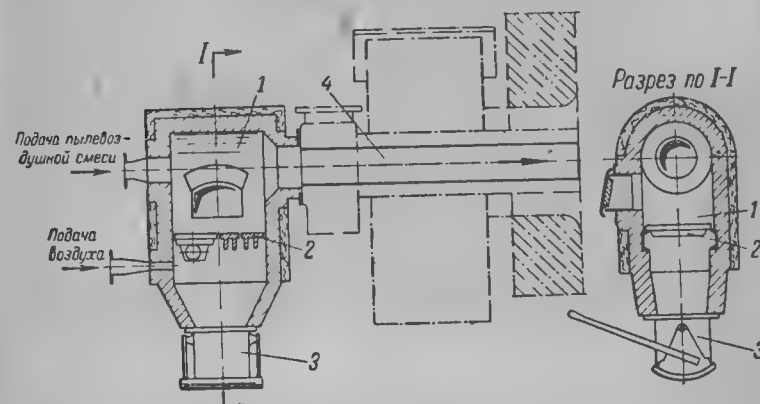
Воспламенение топлива внутри самого муфеля происходит при прохождении пылевоздушной смеси над колосниковой решеткой с ручным обслуживанием. Часть воздуха проходит через муфель вместе с угольной пылью, другая часть воздуха подается под решетку.

Длительная работа встроенной муфельной горелки при пуске котла нежелательна, так как отводящая труба 4 (фиг. 4-18) сравнительно быстро перегорает под действием высокой температуры.

Эти горелки нельзя использовать для подсвечивания пламени в течение длительного времени.

Муфельная горелка для растопки котла с шахтно-мельничной топкой размещается либо под амбразурой, либо рядом с ней. При сжигании торфа топливо поступает непо-

средственно из бункера на наклонные колосники (фиг. 4-19). Продукты горения входят в амбразуру основной горелки снизу либо сбоку. Таким образом, большинство муфельных горелок топок с шахтными мельницами также можно рас-



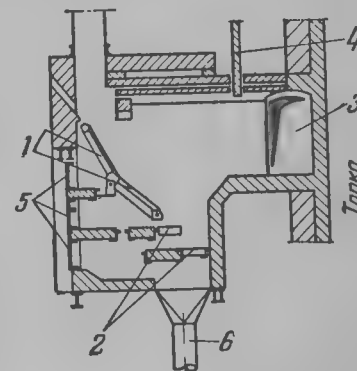
Фиг. 4-18. Встроенная муфельная горелка.

1 — муфельная камера; 2 — колосники; 3 — шлаковый затвор; 4 — отводящая труба в топку котла.

считать как встроенные в амбразуры горелок.

Если на фронте топки устанавливают три или четыре шахтные мельницы, то их располагают настолько близко друг к другу, что муфельные горелки можно встроить только к крайним двум.

Муфельные горелки топок с шахтными мельницами могут длительно работать без выгорания обмуровки, но большинство их конструкций нельзя использовать для непрерывного подсвечивания пламени. Их расшлаковка на ходу котла опасна, так как в периоды не вполне устойчивой работы топки пламя может выбивать наружу. При работе котла не сле-



Фиг. 4-19. Растопочная муфельная горелка для котлов, работающих на фрезерном торфе.

1 — наклонные колосники; 2 — горизонтальные колосники; 3 — выход газов из муфельной горелки в амбразуру шахтно-мельничной топки; 4 — запорный шибер; 5 — дверцы для расшлаковки; 6 — рукав для отвода золы.

дует допускать и ручную загрузку топлива на колосниковую решетку.

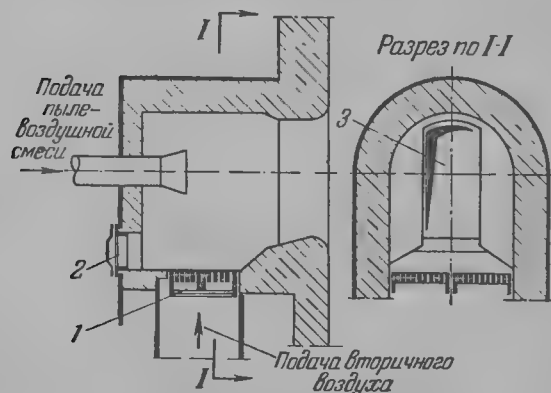
Неоднократно делались попытки сделать муфельную камеру таким образом, чтобы через нее проходила часть пылевоздушной смеси из основной шахты (фиг. 4-20).



Фиг. 4-20. Растопочная муфельная горелка для топки с шахтными мельницами.

1 — шахта; 2 — амбразура; 3 — колосниковая решетка; 4 — топочная камера котла; 5 — подвод пылевоздушной смеси к муфельной горелке.

Недостатком конструкции этой муфельной горелки является опасность движения газов из муфеля в шахту 1 при нарушении режима работы топки.



Фиг. 4-21. Растопочная муфельная горелка для длиннопламенного угля.

1 — колосниковая решетка; 2 — загрузочная дверца; 3 — амбатура.

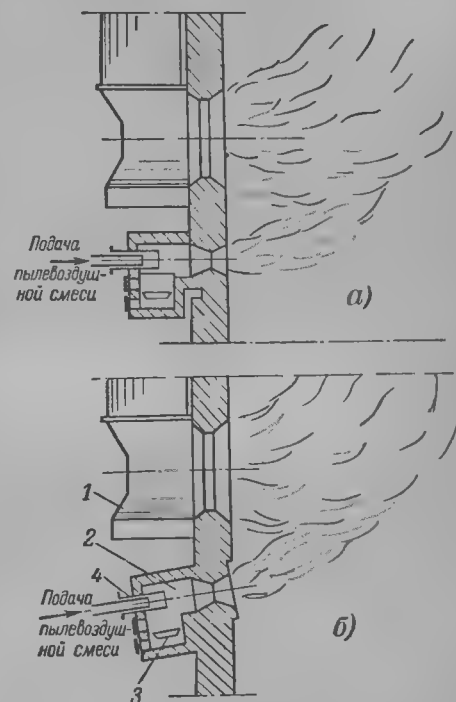
Угольная пыль загорается, проходя над колосниковой решеткой и входя в амбразуру основной горелки, может длительное время подсвечивать основной факел. Иногда такие муфельные горелки работают успешно, но при незначительном увеличении давления воздуха под колосниковую

решетку или прогорании на ней топлива проходящий через колосники воздух выходит из муфеля не только в топку, но и в мельничную шахту. Тогда в шахте возникает совершенно недопустимое преждевременное загорание топлива.

Невстроенные растопочные муфельные горелки. Пуск в работу котла с невстроенными муфельными горелками (фиг. 4-21) производится в том же порядке, как и при встроенных горелках, но зажигание ими основного факела более затруднительно. Выходящее из муфеля пламя должно быть достаточно мощным и находиться вблизи пылевоздушного потока из основных горелок.

В 1944 г. на котле были установлены две муфельные горелки, расположенные на 1480 мм ниже основных горелок (фиг. 4-22, а). Топливом служил длиннопламенный тварчельский уголь с содержанием летучих около 35%. Зажечь муфельными горелками основной факел не удавалось, для растопки котла нужно было применять мазут.

В 1945 г. при пуске следующего котла муфельные горелки были установлены наклонно (фиг. 4-22, б). Факелы муфельных горелок пересекались с основным факелом. Безмазутная растопка котла была легко достигнута. Расход кускового угля на колосниковой решетке каждого муфеля не превышал 40 кг на растопку.



Фиг. 4-22. Улучшение действия невстроенной муфельной горелки путем поворота ее вверх на 12°.

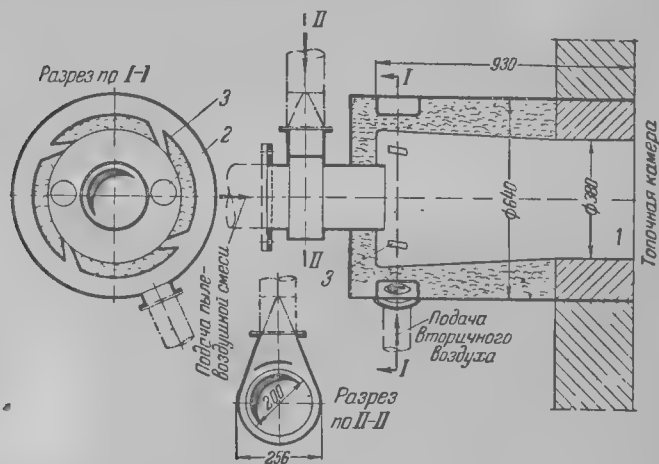
а — первоначальная конструкция; б — исправленная конструкция. Схематически показано движение факелов в топке. 1 — основная пылеугольная горелка; 2 — муфельная камера; 3 — колосниковая решетка; 4 — регулирующий насадок.

Невстроенные муфельные горелки с ручной загрузкой топлива на колосниковую решетку также трудно использовать для длительного подсвечивания основного пылеугольного факела. Открытие дверей муфеля на ходу котла опас-

но для персонала, который может пострадать при случайной вспышке пламени.

Наиболее частой неполадкой неустроенных муфельных горелок является шлакование муфеля.

Муфельные горелки постоянного действия. На фиг. 4-23 показана одна из наиболее простых конструкций, примененная при сжигании длиннопламенного каменного угля в топке со щелевыми горелками. Первичный воздух подается по



Фиг. 4-23. Муфельная горелка постоянного действия для длиннопламенного угля.

1 — амбразура; 2 — отверстия для зажигания пыли при растопке муфеля; 3 — наклонные щели выхода в муфельную камеру потока вторичного воздуха.

оси муфельной камеры, вторичный воздух входит по наклонным щелям 3, а частично по трубе 2 и способствует закручиванию пылевоздушной смеси. Угольная пыль относится к стенкам муфельной камеры. Зажигание топлива происходит при недостатке воздуха и начинается в глубине амбразуры.

Муфели постоянного действия приносят большую пользу, если котел работает с резко колеблющейся нагрузкой. Они полезны при необходимости работы с очень малой паропроизводительностью и при многих других обстоятельствах. Подсвечивание основного факела муфельными горелками постоянного действия дает возможность уменьшить потерю от недожога топлива.

Регулирование нагрузки мощной электростанции, работавшей на буром угле, производилось одним котлом, производительность которого 3—4 раза в час изменялась примерно от 50 до 200 т/час. Работа котла протекала устойчиво и надежно отчасти благодаря высокой оперативности его машинистов, непрерывно изменявших дутье и тягу соответственно нагрузке. Но в значительной мере легкость непрерывного изменения режима работы объяснялась действием двух мощных муфельных горелок, непрерывно подсвечивавших основной факел.

В некоторых случаях непрерывно работавшие муфельные горелки способствовали устойчивой работе топки в период первичного пуска, при еще не налаженном режиме горения.

Котел высокого давления был пущен на АИШ с недостаточной поверхностью зажигательного лояса. В первый период эксплуатации при работе без муфельных горелок неоднократно происходил обрыв факела. Температура перегретого пара непрерывно изменялась в широких пределах. Процесс горения не заканчивался в топке, пламя проходило между трубами фестона, что вызывало их быстрое шлакование.

Пуск в работу двух муфельных горелок постоянного действия дал немедленный эффект. Факел сразу стал устойчивым. Колебание температуры перегретого пара почти прекратилось.

4-6. ШЛАКОВАНИЕ ТОПОК И МЕТОДЫ ЕГО ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ

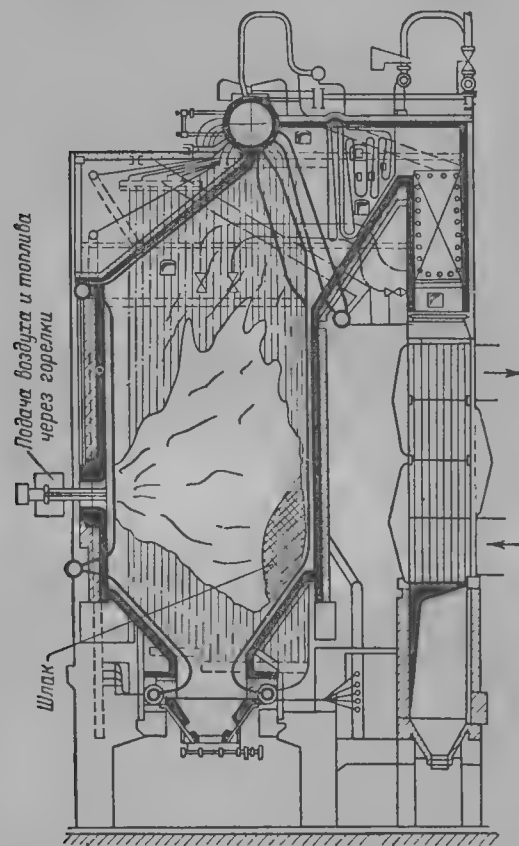
При нагревании до высокой температуры зола топлива постепенно размягчается и становится вязкой, пластичной. При дальнейшем нагреве она переходит в жидкое состояние. В вязком виде зола топлива может быть чрезвычайно опасной для работы парового котла, налиная на поверхностях нагрева, на стенах топки и в шлаковом бункере.

Проходя через ядро факела, частицы золы полностью или только с поверхности расплавляются. Поднимаясь с газами или опускаясь в шлаковый бункер, они охлаждаются и на выходе из топки должны иметь температуру ниже температуры, при которой они находятся в размягченном состоянии.

Для предотвращения или хотя бы уменьшения шлакования нужно прежде всего внимательно следить за горением топлива в топке. Факел не должен касаться стен топочной камеры, не должен затягиваться в конвективные поверхности нагрева. Неправильное положение факела влечет за собой возрастание температуры газов у стел топки или у труб фестона и способствует размягчению золы в опасных зонах (фиг. 4-24).

Таким образом, отсутствие шлакования правильно запроектированной топки в значительной мере зависит от искусства машиниста котла, который должен регулировать длину факела, не допуская, чтобы он «лизал» стены топки и выходил за ее пределы. Иногда, однако, даже тщательное регулирование положения факела недостаточно.

Свойства золы различных топлив весьма разнообразны, в частности, размягчение золы происходит при различной температуре. Есть топлива, у которых зола размягчается при столь высокой температуре, что, сжигая их, можно



Фиг. 4-24. Схема шлакования при неправильном положении факела в топке (при большом шаге между экранными трубами).

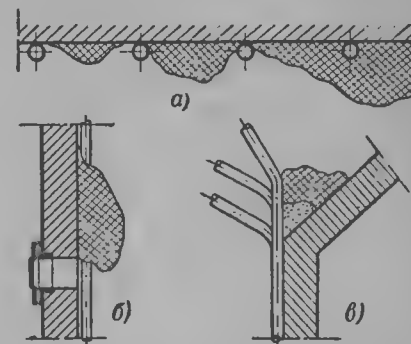
практически не опасаться шлакования. У большинства топлив размягчение золы происходит при температуре 1 100—1 300° С. Имеются угли (например, кизеловские угли на Урале), у которых зола размягчается при температуре порядка 1 000° С. Шлакование одной и той же топки может быть различным при сжигании в ней разных углей.

Температура размягчения золы топлива несколько изменяется в зависимости от свойств газов, с которыми движется зола. Размягчение происходит при более низкой температуре, если в газах имеются продукты химического недожога. Процесс горения следует вести так, чтобы на выходе газов из топки химический недожог отсутствовал по всему сечению газохода.

Повышение нагрузки котла опасно в отношении шлакования по двум причинам: во-первых, растет температура газов перед фестоном и, во-вторых, может возрасти химический недожог. У многих котлов имеется «критическая» нагрузка, при превышении которой шлакование топки резко усиливается. Иногда после наладки топочного режима удается повысить нагрузку, при которой шлакование отсутствует.

Существенное значение имеет состояние поверхности, с которой соприкасаются частицы размягченной золы. Зола хуже прилипает к металлической поверхности труб и лучше удерживается на незащищенных экранами стенах топочной камеры (например, у трехбарабанных котлов в зоне *a* на фиг. 1-2). Наиболее подвержены шлакованию горизонтальные и слабо наклоненные к горизонтالي участки обмуровки (фиг. 4-25, *a*).

Весьма опасным является отложение твердых частиц золы на трубах, слабо наклоненных к горизонтالي. Эта зола удерживается в небольшом количестве на верхней части труб (фиг. 4-26, *a*). Пролетающие мимо труб частицы золы иногда имеют недостаточную вязкость для того, чтобы налипнуть на металлические трубы, но они прилипают к твердым частицам, лежащим на металле. Постепенно шлаковые наросты возрастают. У труб, разведенных на большое расстояние друг от друга, шлак периодически обваливается вниз, но при более тесном расположении труб отдельные

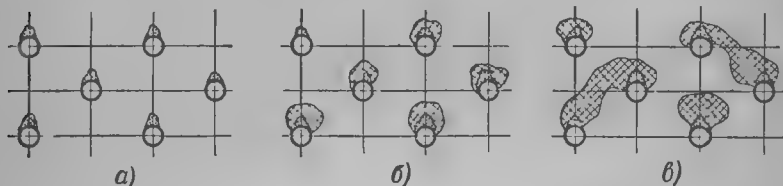


Фиг. 4-25. Схема образования шлаковых наростов на стенах топочной камеры.

a — при редком расположении охлаждающих труб потолочного перекрытия; *b* — при подсосе в топку холодного воздуха через неплотный лючок; *в* — в месте, где затруднено ссыпание летучей золы.

наросты соединяются (фиг. 4-26, в), после чего их удаление становится значительно труднее.

Повышение бесшлаковочной производительности котлов достигается в основном проведением следующих мероприятий.



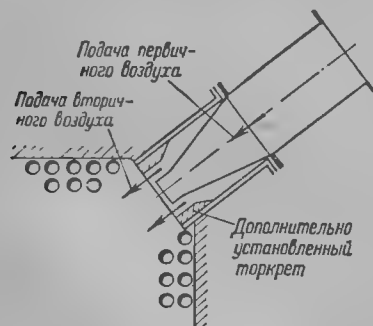
Фиг. 4-26. Схема роста шлаковых наростов на трубах конвективного пучка.

а) Обеспечение требуемого избытка воздуха в топке

Иногда для уменьшения расхода электроэнергии на собственные нужды котельного цеха из двух дутьевых вентиляторов или двух дымососов котла работает только один вентилятор или дымосос. Шлакование удается уменьшить, когда при включении в работу обеих машин увеличивается избыток воздуха в топке до требуемой величины, в результате чего уменьшается также потеря от химического недожога.

б) Снижение температуры газов на выходе из топки путем наладки процесса горения

Однобарабанные секционные котлы ЛМЗ 200 т/час, 35 ат из-за сильного шлакования топок могли нести нагрузку не более 150 т/час.



Фиг. 4-27. Схема уменьшения выходного сечения по вторичному воздуху щелевой пылеугольной горелки.

При наладке котлов прежде всего обратили внимание на методы регулирования подачи воздуха в щелевые пылеугольные горелки. Были проверены и исправлены шиберы, установлены четкие указатели их положения, протарированы питатели пыли и т. д. Далее, был произведен ремонт воздухоподогревателей и заменены изношенные кубы, что привело к уменьшению присоса воздуха в дымовые газы, разгрузило дымососы и позволило работать при большем избытке воздуха в топке и соответственно меньшем химическом недожоге.

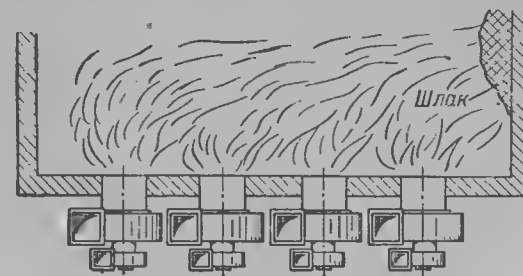
Однако наибольший эффект дала переделка горелок. Было вы-

явлено, что вторичный воздух выходил в топку со скоростью, в 2,5 раза меньшей, чем первичный воздух, в результате чего затягивалось горение топлива и температура газов перед фестоном возрастала.

Уменьшение выходного сечения горелок по вторичному воздуху (фиг. 4-27) привело к снижению положения ядра факела в топке, что позволило повысить бесшлаковочную нагрузку котлов примерно до 180 т/час.

в) Регулирование положения факела в топке

Четыре пылеугольные горелки были размещены на фронтальной стене топочной камеры трехбарабанного котла, работавшего на АШ. Из всех этих горелок факел выходил немного смещенным вправо, по пути



Фиг. 4-28. Одностороннее отложение шлака на стене топочной камеры при неправильном направлении факела.

движения воздуха. При этом происходило систематическое шлакование зажигательного пояса на правой боковой стене топки (фиг. 4-28). После перемены направления вращения воздуха в двух правых улитках факел удалось разместить в средней части топочного объема, вследствие чего шлакование топки прекратилось.

г) Ликвидация присоса воздуха в топку

Шлакование значительно усиливается с возрастанием присоса в нижнюю часть топки наружного воздуха, оттягивающего факел кверху топочной камеры. Горение затягивается, и температура газов в фестоне и конвективном трубном пучке может повыситься до опасных по шлакованию значений. Шлакование удавалось уменьшить после уплотнения мест прохода через обмуровку экранных труб, ремонта шиберов шлакового бункера и других мероприятий по уплотнению топки.

Конечно, ни одна конструкция топки не может полностью обеспечить отсутствие шлакования, если не следить за положением факела в топочной камере и не наблюдать через лючки по несколько раз в смену за состоянием внутренней

поверхности стен топки и труб конвективного пучка. Отклонения от требуемого топочного режима должны немедленно исправляться, а шлаковые наросты нужно удалять до того, как они увеличатся до опасных размеров.

д) Конструктивные переделки топки

Например, шлакование можно значительно уменьшить, если опустить пылеугольные горелки и увеличить таким способом длину факела в топочной камере или увеличить угол наклона к горизонтали труб фестона и т. п.

Обдувочные устройства. Следует подчеркнуть, что описанные ниже конструкции обдувочных устройств работают наиболее эффективно по удалению с труб осевшей на них золы до того, как вокруг этой золы начнут расти шлаковые отложения, изображенные на фиг. 4-26. Любая из существующих конструкций обдувки приносит пользу только при регулярном пользовании ею; удалять шлаковые наросты большого размера применением этих конструкций обдувочных устройств оказывается невозможным.

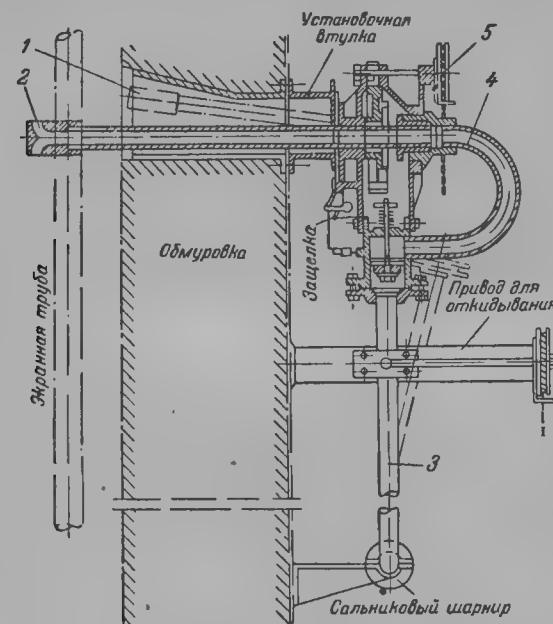
Обдувка поверхностей нагрева производится паром, воздухом и пароводяной смесью. Обдувочные устройства могут быть разделены на три соответствующие группы.

На фиг. 4-29 показана схема устройства для паровой обдувки экранных труб, применявшегося в довоенное время. Обдувочная труба 1 выдвигается в топку перед началом работы аппарата и заводится в глубину топки после его выключения.

Основным недостатком паровой обдувки является то обстоятельство, что эффективность струи резко падает при положении сопла на большом расстоянии от обдуваемой поверхности. Струя пара может повредить близлежащие трубы, но на расстоянии 2—2,5 м от аппарата не удается сдуть даже свободно лежащую на трубах легучую золу. Вследствие этого при паровой обдувке требуется установка большого числа обдувочных аппаратов, что усложняет обслуживание, увеличивает неплотность топки и газоходов и повышает стоимость обдувочных устройств.

В последние годы разработаны новые, более совершенные паровые обдувочные устройства повышенной дальности, проходящие в настоящее время проверку в разнообразных эксплуатационных условиях. Изготовление паровых обдувочных аппаратов старой конструкции прекращено.

На фиг. 4-30 показана новая конструкция парового обдувочного аппарата ЦКТИ, изготавливаемого заводом Ильмарине. Этот обдувочный аппарат предназначен для обдувки топочных экранов перегретым паром (до 30 ат, 400—425° С), его радиус действия — около 2 м. Аппарат приводится в дей-

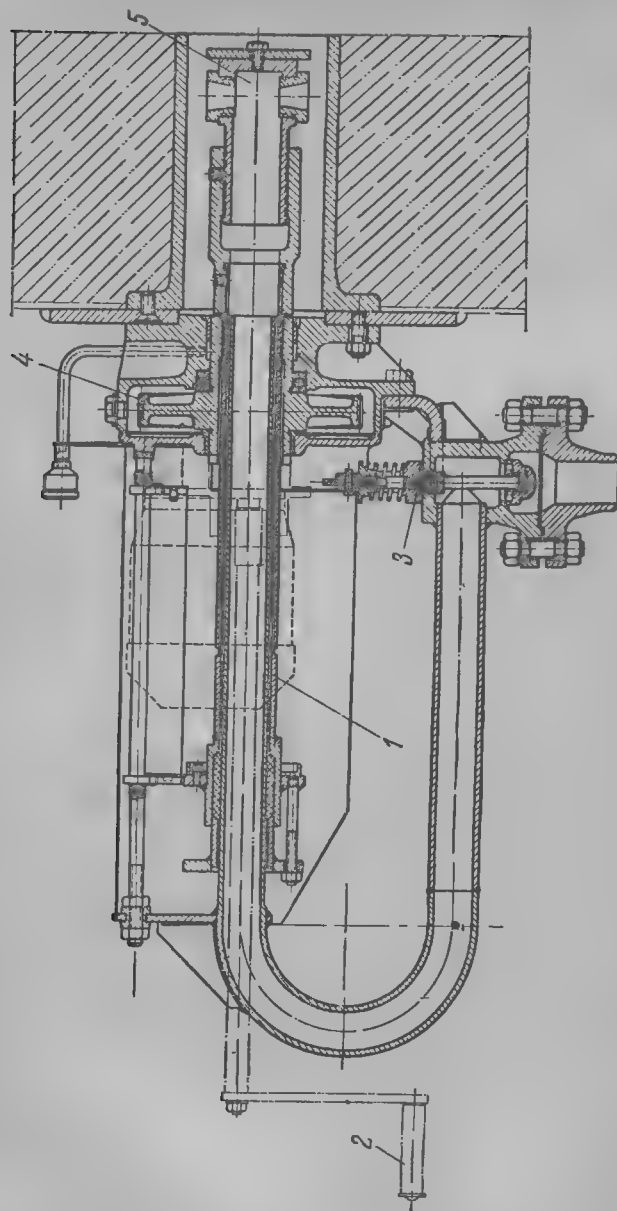


Фиг. 4-29. Обдувочное выдвижное устройство для экранных поверхностей.

1 — обдувочная труба (показана в нерабочем положении); 2 — паровое сопло (в рабочем положении); 3 — подвод пара; 4 — переходная труба; 5 — привод для поворота обдувочной трубы.

ствие электродвигателем 1 (на чертеже показан пунктиром) либо вручную (рукоятка 2).

Основными частями данного аппарата являются: клапанный механизм 3, который в начале действия открывает доступ в него пара, а в конце обдувки выключает пар; привод с редуктором 4, передающий усилие от электродвигателя, и шпиндель с сопловой головкой 5, выдвигающийся перед обдувкой в глубину топки. Процесс обдувки длится 0,5—1 мин., после чего шпиндель с сопловой головкой перемещается в противоположном направлении. Аналогичное устройство с радиусом действия до 1 м, применяемое для



Фиг. 4-30. Обдувочный аппарат ЦКТИ завода Ильмарине для обдувки экранов. Аппарат показан в нерабочем положении.
1 — электродвигатель; 2 — ручной привод; 3 — клапанный механизм; 4 — редуктор; 5 — сопловая головка.

обдувки конвективных поверхностей нагрева, снабжено вместо сопловой головки обдувочной трубой с соплами, которая при действии обдувочного аппарата медленно поворачивается.

Преимуществом воздушной обдувки является то, что обдувочную пикку можно передвигать вручную и близко подводить к золовым и шлаковым отложениям. Для этого через отверстие в боковой стене в газоход вводят стальную пикку диаметром порядка 25 мм, заглушенную с торца и имеющую у этого торца боковые отверстия или сопла диаметром 5—6 мм. С другого конца в пикку через шланг подается сжатый воздух с давлением перед пиккой не менее 5 ат. При меньшем давлении эффективность обдувки резко снижается. Передвижение пикки при обдувке производится вручную, причем ее обычно заводят в газоход таким образом, чтобы она не держалась навесу, а лежала между расходящимися трубами фестона либо на нижних петлях змеевиков пароперегревателя. Этим уменьшается физическое усилие обдувщика.

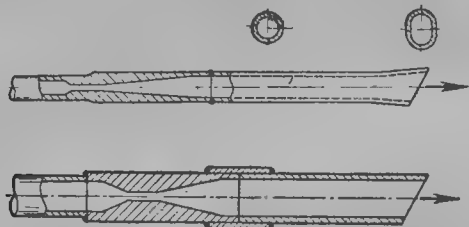
При выходе с большой скоростью из сопла температура воздушной струи понижается. Благодаря этому воздух не только сбивает с поверхностей нагрева золу и шлак, но, охлаждая небольшие шлаковые образования, способствует их растрескиванию.

На большом расстоянии действие воздушной обдувки меньше, чем паровой. В стационарных обдувочных аппаратах воздух не применяют.

В последние годы получила распространение предложенная инж. И. Л. Перельманом обдувка поверхностей нагрева потоком паровой воды с смеси. К неподвижным сопловым аппаратам подводится вода непрерывной продувки котла, имеющая такую же температуру, как и вода в барабане котла, или питательная вода, имеющая, как правило, температуру не ниже 150° С.

Характерной особенностью соплового аппарата данной конструкции является наличие в нем цилиндрического отверстия очень малого диаметра (обычно порядка 5 мм). Падение давления происходит, в основном, в этом отверстии и в следующей за ним расширяющейся части аппарата (фиг. 4-31). При резком падении давления часть воды испаряется, благодаря чему объем потока возрастает во много раз. Соответственно увеличивается и его скорость. Оставшаяся вода в виде капель с большой скоростью ударяется о шлаковые образования.

Основным преимуществом такой обдувки является сочетание в ней высокой скорости потока с наличием относительно тяжелых капель воды, легко сбивающих летучую золу и даже небольшие шлаковые наросты. Опасность повреждения самих труб предотвращается направлением потока под острым углом к трубам (фиг. 8-8), расположением сопел на 4—6 м от обдуваемой поверхности, а также тем, что длительность обдувки ограничивается 15—30 сек. Вода, попада-



Фиг. 4-31. Различные конструкции сопловых аппаратов для обдувки потоком пароводяной смеси. Отдельно показаны поперечные сечения в различных местах аппарата.

дая на раскаленные шлаковые наросты, вызывает их растрескивание, поэтому при незначительном шлаковании указанная продолжительность обдувки достаточна.

Из различных способов удаления больших шлаковых образований наиболее эффективной является очистка шлака струей воды, которая быстро разрыхляет горячий шлак, после чего легко производится удаление пористого шлака. Воду в топку котла обычно вводят через перемещаемую вручную пику с наконечником.

Опасность водяной расшлаковки заключается в том, что, попадая на экранные трубы, вода из пикки быстро охлаждает их и может нарушить циркуляцию в них воды. Как правило, водяную расшлаковку нужно производить на котле, остановленном в горячий резерв. Иногда приходится применять водяную расшлаковку на работающем котле. Но тогда необходимо следить за тем, чтобы вода лилась только на шлак и не попадала на экранные трубы. Особо опасна водяная расшлаковка на ходу котла у котельных агрегатов высокого давления.

В котельной высокого давления с котлами производительностью по 220 т/час, 110 ат в течение нескольких лет не было разрывов экранных труб. В дальнейшем, однако, один за другим произошло несколько та-

ких разрывов. Исследуя возможные причины этих аварий, ЦКТИ произвел измерение скорости движения воды в трубах (скорости циркуляции, см. гл. 6). В обычных условиях эта скорость была достаточно большой и доходила до 1 м/сек. Но во время поливки труб водой из расшлаковочной пикки скорость воды уменьшалась до нуля, хотя во время опыта конец пикки непрерывно перемещался в горизонтальном направлении. Было установлено, что водяная расшлаковка была внедрена на этих котлах незадолго до того, как начались разрывы экранных труб. Аварии прекратились, когда водяную расшлаковку стали производить не на ходу котлов, а при остановке их в горячий резерв.

ГЛАВА ПЯТАЯ

СЖИГАНИЕ ЖИДКОГО И ГАЗООБРАЗНОГО ТОПЛИВА

На большинстве электростанций жидкое и газообразное топливо (мазут и горючие газы) потребляют лишь при растопке котлов, для подсвечивания факела при малой нагрузке и т. д. Лишь на немногих электростанциях мазут или горючие газы являются основным видом топлива.

На металлургических заводах, например, доменный и коксовый газы идут на отопление многочисленных печей мартеновского и прокатного цехов. Лишь излишек газа направляется в котельную. Большое количество газообразного топлива сжигают под котлами в те периоды, когда расширение мартеновского и прокатного цехов отстает от роста мощности доменного цеха. Однако такой режим эксплуатации обычно является временным.

Котлы, построенные для сжигания жидкого или газообразного топлива, отличаются несколько меньшими размерами и более простой конструкцией. В них отсутствуют холодная воронка с шлакосмывной шахтой, нет фестоцирования труб, которое при сжигании твердого топлива уменьшает опасность шлакования. Не требуется высокого подогрева воздуха и т. д.

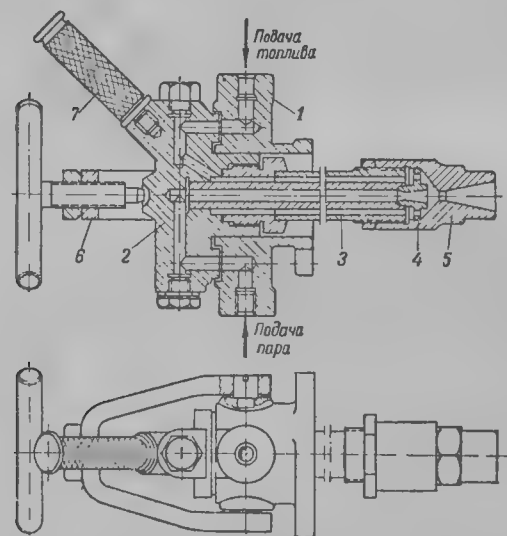
При длительной работе пылеугольного котла на жидком или газообразном топливе рекомендуется наглухо отключить шлакосмывную шахту, чтобы исключить возможность вредного присоса через нее холодного воздуха.

5-1. СЖИГАНИЕ ЖИДКОГО ТОПЛИВА

Жидкое топливо подается в топку через форсунки под давлением и в наконечниках форсунок разбрызгивается на мельчайшие капли, которые воспламеняются и сгорают внутри топочного объема.

Ниже описываются два типа форсунок — с паровым и с механическим распыливанием. Форсунки с паровым распыливанием большей частью устанавливают как растопочные; форсунки с механическим распыливанием в большинстве случаев служат для сжигания мазута как основного вида топлива.

Применять для растопки котла форсунки с механическим распыливанием топлива нецелесообразно. Производительность таких форсунок почти нельзя регулировать, так как при уменьшении подачи мазута снижается его давление в форсунке и ухудшается распыливание. Подача же в неразогретую топку большого количества мазута приводит к тому, что часть топлива, не сгорая, стекает вниз.



Фиг. 5-1. Нефтяная форсунка с паровым распыливанием топлива.
1 — оправа; 2 — корпус; 3 — труба; 4 — сопло; 5 — диффузор; 6 — зажим; 7 — рукоятка.

У форсунок с паровым распыливанием начальное разбрызгивание мазута обеспечивается струей пара, поэтому количество жидкого топлива можно изменять в широких пределах без ухудшения показателей горения. Такие форсунки весьма удобны для растопки котла. Но для длительного сжигания мазута применение их нецелесообразно, так как затрата пара на распыливание ухудшает экономичность работы котельного агрегата.

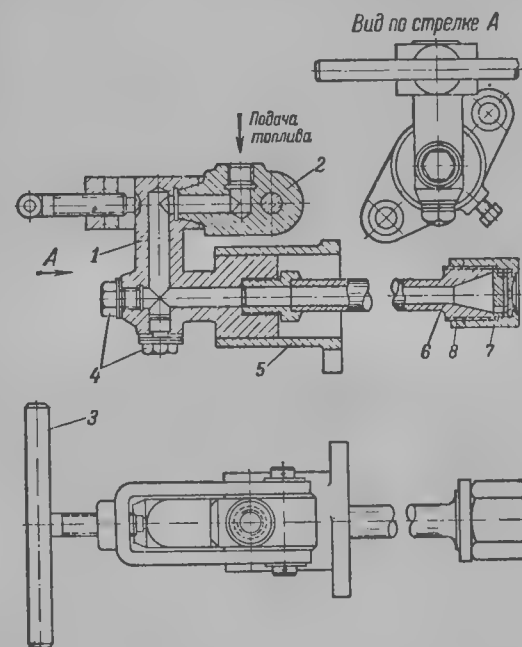
На распыливание 1 кг жидкого топлива затрачивается 0,3—0,4 кг пара давлением 4—16 ат.

Форсунка с паровым распыливанием (фиг. 5-1) состоит из неподвижной оправы 1 и съемного корпуса 2, к которому

присоединена труба 3, имеющая на конце сопло 4 и диффузор 5. Корпус прижимается к оправе зажимом.

Неработающие форсунки во избежание обгорания должны выниматься из амбразур.

Розжиг мазутных форсунок производят, зажигая пропитанные мазутом или керосином асбестовые концы, прикрепленные к стальному пруту. Такой факел вводится в топку



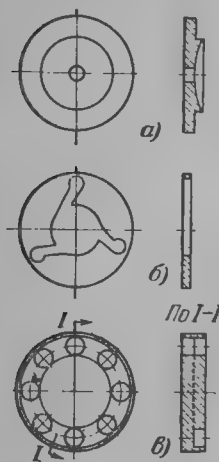
Фиг. 5-2. Форсунка с механическим распыливанием топлива.

1 — корпус; 2 — концевая часть; 3 — зажим; 4 — пробки; 5 — оправа; 6 — труба с наконечником; 7 — зажимная гайка; 8 — контргайка

к наконечнику форсунки. Сначала открывают подачу пара, а потом мазута.

В форсунках с механическим распыливанием (фиг. 5-2) топливо подается в концевую часть 2, присоединенную к подводному нефтепроводу (на чертеже не показанному). К концевой части прижимается особым зажимом 3 чугунный корпус 1, снабженный отверстиями для чистки, закрываемыми пробками 4. Корпус 1 свободно поворачивается в оправе 5 и при отвинчивании зажима может быть вынут

Вместе с присоединенной к нему трубой 6. Пройдя сквозь трубу 6, топливо распыляется в трех последовательно установленных шайбах, изображенных отдельно на фиг. 5-3. Шайбы прижимаются к наконечнику трубы 6 зажимной гайкой 7, снабженной контргайкой 8. При сборке форсунки нужно особо проверить последовательность установки шайб. Изменение их взаимного расположения влечет за собой резкое ухудшение распыливания.



Фиг. 5-3. Распыливающее устройство форсунки с механическим распыливанием.

а — посадка (наружная); б — распыливающий диск; в — шайба (внутренняя).

Мазутная форсунка с механическим распыливанием топлива устанавливается по оси особого завихрителя для воздуха, называемого регистром. Давление топлива перед форсункой с механическим распыливанием должно быть не ниже 12 ат.

Несмотря на весьма тонкое распыливание, мазут в современных топках паровых котлов сгорает неполностью. Потеря от химического недожога достигает 2%. Несгоревшие частицы оседают на поверхностях нагрева в виде сажи, даже тонкий слой которой значительно ухудшает передачу тепла от дымовых газов к поверхности нагрева.

Отложение сажи становится особенно опасным, если сжигание жидкого топлива производят неправильно, при недостаточной подаче воздуха и, следовательно, с повышенным недожогом. Больше всего сажа отлагается в воздухоподогревателе. Если после длительной работы с недостатком воздуха изменить режим горения, то отложившаяся сажа может воспламениться.

Известны случаи самовозгорания сажи, что приводило к полному выходу из строя воздухоподогревателя и длительной остановке котла.

Котел типа ЦКТИ-75/39 производительностью 75 т/час в течение почти 2 мес. работал на мазуте с нагрузкой 35—40 т/час. Из дымовой трубы часто шел густой черный дым; при остановке котла был обнаружен налет сажи в экономайзере и коробе перед дымососом. Но сжигание жидкого топлива рассматривалось как временное и наладкой топочного режима никто не занимался.

Однажды внезапно вышел из строя мазутный насос. Подача топлива к форсункам прекратилась. Немедленно пустили другой насос, но в этот момент было обнаружено повышение уровня воды в барабане,

вследствие чего мазут решили не зажигать до установления нормального уровня. Дымосос и дутьевой вентилятор продолжали работать и мпесенные сажей газоходы омывались чистым воздухом.

Через 2—3 мин. появилась сильная вибрация дымососа и он немедленно был остановлен. Сразу же старший машинист остановил дутьевой вентилятор. Но было уже поздно, — через минуту заметили сильное покраснение обшивки воздухоподогревателя с правой стороны котла. Покраснение быстро распространялось вниз, т. е. по ходу газов.

Линии пожаротушения на котле не было и бороться с зажиганием сажи было трудно. Пар стали подавать через полностью открытые паровые вентили форсунок, а в дальнейшем — шлангами через отверстия взрывных клапанов. Для уменьшения естественной тяги плотно закрыли газовые шиберы и открыли лаз перед дымососом, на уровне пола зольного помещения. Несмотря на принятые меры горение сажи продолжалось в течение 5 час.

На следующий день при вскрытии газоходов было обнаружено, что 6 кубов воздухоподогревателя пришли в полную негодность, другие кубы были повреждены частично. Трубы были расплавлены, большое количество металла протекло через нижние трубные доски. Лопатки дымососа искривились. Ликвидация повреждений потребовала длительного времени.

Все это произошло из-за невнимательного контроля за полнотой сгорания мазута в топочной камере.

В котельных цехах, работающих на твердом топливе, расход мазута на растопку котлов и на подсвечивание факела обычно невелик. Иногда мазут совсем не расходуется, но должен все время подводиться к котлам, чтобы в случае ухудшения горения его можно было немедленно подать в топку. В таких котельных мазут непрерывно циркулирует по кольцевому мазутопроводу, его излишек возвращается в нефтенасосную. Чем больше охлаждается мазут в котельном цехе, тем большее его количество должно проходить по трубам во избежание его застывания.

Котел производительностью 170 т/час был растоплен ночью на мазуте и постепенно переведен на основное топливо — антрацитовую пыль. К 7 час. 30 мин. утра котел уже устойчиво нес нагрузку 120 т/час. Можно было прекратить подсвечивание факела мазутом, но руководивший растопкой заместитель начальника цеха решил дождаться смены вахты и оставил включенными две форсунки. В 8 час. 10 мин. пламя в топке начало пульсировать. Была увеличена подача мазута, вскоре включили третью форсунку, а за ней и четвертую. Но мазут горел плохо, и через несколько минут факел в топке полностью погас. Котел был остановлен с соответствующим снижением нагрузки электростанции.

Оказалось, что в нефтяном баке, заполненном на высоту около 1 м, был слой воды под мазутом толщиной около полуметра. Эта вода откачивалась вместе с мазутом. Чем больше открывали подачу жидкого топлива, тем большее количество воды заливали в топку котла.

Сброс нагрузки произошел из-за недостаточного контроля за мазутными баками.

5-2. СЖИГАНИЕ ГАЗООБРАЗНОГО ТОПЛИВА

На фиг. 5-4 изображена распространенная конструкция щелевой горелки для подачи в топку доменного газа. Она состоит из сварного корпуса, имеющего два патрубка. Через меньший патрубок в горелку вводится горючий газ, через больший — воздух.

Подача газа и воздуха регулируется шиберами 1 и 2. Газ проходит через щелевые каналы 3, соединенные с малым патрубком. Через суживающиеся вертикальные щели в конце этих каналов газ входит в шамотные амбразуры 4. В эти же амбразуры подается весь нужный для сжигания воздух. Щели для воздуха расположены слева и справа от каждой газовой щели.

Внутри амбразур 4 горючий газ перемешивается с воздухом и загорается. Горение продолжается внутри топочной камеры.

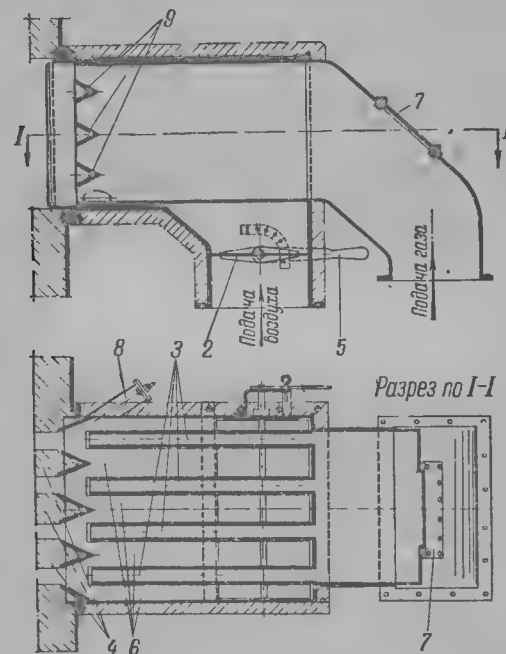
Необходимым условием хорошего перемешивания является высокая скорость выхода горючего газа и воздуха в амбразуру. Скорость выхода газа выбирают обычно от 25 до 35 м/сек, а воздуха — от 20 до 30 м/сек (в самом узком сечении).

Более тщательное перемешивание газа и воздуха достигается в горелке, показанной на фиг. 5-5. В выходной части газовых щелей имеются особые насадки 9, благодаря которым увеличивается скорость газа в месте смешения. Более тщательное перемешивание дает возможность укоротить газовый факел внутри топки. В корпусе горелки имеется съемный люк 7 для очистки и закрытые стеклами «глазки» 8 для наблюдения за факелом.

Горелка коксового газа устанавливается обычно как распоточная. Применяют как щелевые, так и круглые горелки. Теплотворная способность коксового газа в 4—5 раз боль-

ше, чем доменного; соответственно уменьшается сечение выхода газа из горелки.

Более половины объема доменного газа представляет собой негорючий балласт, в основном азот и углекислоту. Этот балласт также нагревается в топке, на что затрачивается значительное количество тепла. Вследствие этого температура ядра горения доменного газа сравнительно ма-



Фиг. 5-5. Горелка доменного газа. 9 — распределитель доменного газа. Остальные обозначения те же, что на фиг. 5-4.

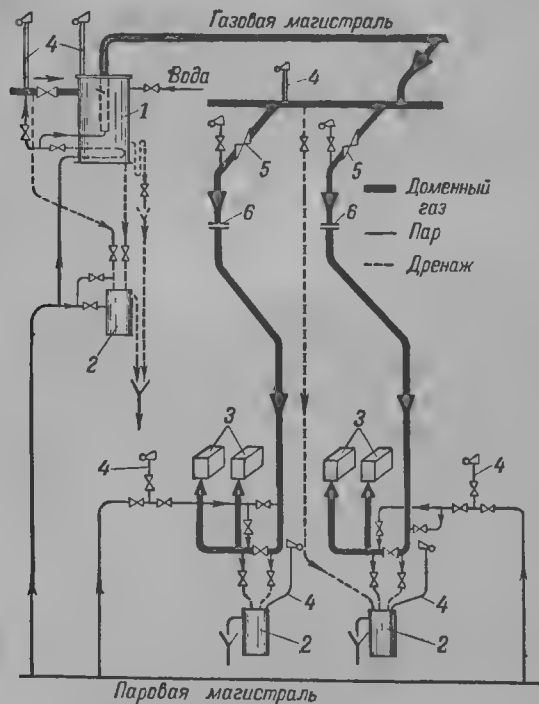
ла, а сам процесс горения затягивается. Горелки доменного газа должны быть расположены в самой нижней части топки с тем, чтобы газ мог гореть на большей по возможности высоте.

Из различных мероприятий по уменьшению высоты факела доменного газа широко применяется подсвечивание факела через горелки коксового газа. Опыт показал, что полезна даже небольшая добавка коксового газа.

На фиг. 5-6 изображена в качестве примера схема по-

дачи доменного газа к горелкам котла на ТЭЦ металлургического завода.

Доменный газ чрезвычайно ядовит и даже ничтожное просачивание его в топку ремонтируемого котла, когда в ней работают люди, совершенно недопустимо. Поэтому на тру-



Фиг. 5-6. Схема трубопроводов для подачи доменного газа к горелкам котла большой производительности.

1 — водяной затвор; 2 — водоотводчик; 3 — горелки с регулирующими шиберами; 4 — свеча; 5 — задвижка; 6 — измерительная шайба.

бопроводах доменного газа всегда устанавливают отключающие устройства, которые могут полностью прекратить его подачу. На фиг. 5-6 показан водяной затвор 1, расположенный на магистрали, подающей газ к котлу. Кроме того, на каждой из двух газовых линий, идущих к рассматриваемому котлу, имеется по запорной задвижке 5.

Существует несколько различных конструкций водяного затвора. На фиг. 5-6 изображен высокий сосуд, который может быстро наполняться водой. Нижняя часть сосуда может обогреваться паром, что зимой предохраняет воду от замерзания. Конструкции задвижек 5 различны, но принцип их действия одинаков. Закрытие подачи газа осуществляется металлическим листом, полностью перекрывающим газопровод.

На каждом участке пути доменного газа имеется дренажная линия, по которой отводится оседающая в трубах влага. Дренажные линии сводятся в водоотводчики доменного газа.

Кроме дренажных линий, в каждый участок трубопровода доменного газа включена паровая линия. Пар подается перед подачей горючего газа. Входя в трубопроводы с давлением, более высоким, чем атмосферное, пар вытесняет воздух. Этим исключается возможность смешения воздуха с легковоспламеняющимся и очень взрывоопасным горючим газом вне топки котла.

Сброс пара и воздуха производят через свечи 4, верхний конец которых всегда находится снаружи цеха и вдали от мест, где могут находиться люди. Пар в трубопроводы горючего газа подается и при остановке котла для того, чтобы после выключения газа удалить его остатки из труб. При этом через свечи выходит смесь пара и горючего газа. Часть пара при продувке превращается в воду и удаляется из газопроводов через дренажи.

Эксплуатация котла, работающего на газообразном топливе, требует от машиниста большого внимания. Невнимательность или ошибка могут привести к тяжелым последствиям. Так, например, рассеянность машиниста котла, не открывшего пар для продувки газопровода, может явиться причиной взрыва и разрушения газовой линии. Утечка газа через неплотности в фланцах в помещение котельного цеха может повлечь за собой отравление людей, а при неблагоприятных обстоятельствах — взрыв газа в котельной.

Машинист котла всегда должен учитывать два очень опасных свойства газового топлива: его чрезвычайную взрывоопасность и вредность. Никогда нельзя нарушать правила обращения с горючим газом: тщательную вентиляцию топочной камеры перед растопкой и после остановки котла, продувку паром отключенных газопроводов, контроль за отсутствием неплотностей и т. д.

Большие осложнения могут возникнуть из-за очень большой воспламеняемости газа. Запорные устройства на газопроводах должны быть всегда в полной готовности к быстрому закрытию.

Котел высокого давления работал с полной нагрузкой на смеси доменного и коксового газа. Параллельно с ним работали котлы на 35 ат. При неправильном переключении с одного деаэратора на другой было допущено попадание воздуха в питательный насос высокого давления. Подача воды на котел немедленно прекратилась. Резервный насос пустить не смогли, — воздух попал и в него. Немедленно была снята нагрузка с турбины высокого давления и выключена подача коксового газа. Но регулирующие шибберы доменного газа у горелок были неплотны. На линии доменного газа отсутствовал отдельный водяной затвор перед котлом, а электродвигатель привода тяжелой задвижки был в ремонте.

Закрытие задвижки вручную затянулось на длительное время, и доменный газ продолжал гореть в топке. Подача пара в газовую линию не смогла погасить пламя. Котел работал при упущенном уровне воды в барабане. Количество проходившего доменного газа было невелико, и фактически котел нес нагрузку, равную около 5% от номинальной. В этих условиях произошел разрыв одной экранной трубы на высоте газовых горелок. Несколько других труб бокового экрана прогнулись в сторону топки с образованием отдулин. Котел вышел из строя.

Этот пример показывает, к каким тяжелым последствиям может привести задержка при прекращении подачи газового топлива.

Особые трудности возникают при совместном сжигании в топочной камере твердого топлива и доменного газа. Как упоминалось, доменный газ горит при сравнительно низкой температуре — в ядре его факела температура составляет 1150—1200°С. Но для правильного и экономичного сжигания большинства твердых топлив требуется гораздо более высокая температура. В частности, температура в ядре антрацитового факела должна быть порядка 1550—1600°С. При совместном горении в топочной камере доменный газ охлаждает пылеугольный факел, снижает температуру пламени и резко ухудшает условия горения твердого топлива.

При совместном сжигании доменного газа и антрацита потеря от недожога доходит до 15—20%. Наиболее целесообразным является их раздельное сжигание — одни котлы отапливают только доменным газом, другие работают на пылевидном топливе. Но такое раздельное сжигание затруднительно, если в цехе установлено лишь два-три котла, а количество газового топлива периодически изменяется.

ГЛАВА ШЕСТАЯ

ЦИРКУЛЯЦИЯ ВОДЫ В ПАРОВОМ КОТЛЕ

6-1. СХЕМА ЦИРКУЛЯЦИИ

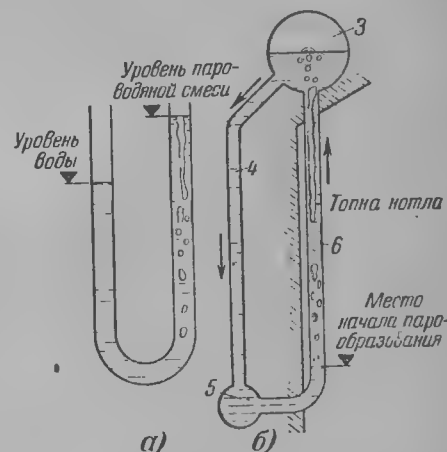
Циркуляцией называется круговое движение воды в трубах экранов и конвективного пучка парового котла, в которых происходят нагрев и испарение воды.

На фиг. 6-1 показана схема движения воды и пара в экране парового котла.

По этой упрощенной схеме парообразование происходит только в обогреваемых экранных трубах, находящихся в топке (на чертеже — справа). В необогреваемых, т. е. в опускающих, трубах парообразование отсутствует. В этих трубах находится только вода. Поэтому внутреннюю часть соединенных между собой труб экрана можно условно уподобить двум сообщающимся сосудам, в которых имеются различные жидкости: в левом сосуде — вода, а в правом — пароводяная смесь.

В таких сообщающихся сосудах обе жидкости находятся в равновесии лишь тогда, когда они производят одинаковое давление на нижнюю часть сосудов, в месте их сопряжения, в данном случае — на нижний коллектор. Практически равновесие могло бы наступить, если бы обогреваемые и необогреваемые трубы не были соединены наверху (фиг. 6-1, а). Тогда уровень пароводяной смеси держался бы значительно выше уровня воды.

Этого нет в действительном экране. Высота столба воды в необогреваемых трубах и пароводяной смеси в трубах, находящихся в топке, одинакова или почти одинакова.



Фиг. 6-1. Схема движения воды и пара в экранных трубах парового котла.

а — изогнутая, открытая сверху трубка, в одной половине которой испаряется вода; уровень пароводяной смеси находится выше уровня воды; б — циркуляционный контур экрана; 3 — барабан котла; 4 — водоопускная труба; 5 — нижний экранный коллектор; 6 — обогреваемая труба.

В таком состоянии жидкость в трубах не может находиться в равновесии. Пока продолжается испарение воды, происходит непрерывное перетекание воды из левого сосуда в правый и движение воды и пароводяной смеси в направлении, показанном на фиг. 6-1, б стрелками.

В этом непрерывном потоке круговое движение совершает только вода. Называя такое движение циркуляцией ей, можно говорить лишь о циркуляции воды. Паровые пузыри проходят только часть кругового пути и в верхних барабанах удаляются.

Круговой путь, по которому происходит циркуляция воды, называется циркуляционным контуром¹.

Как правило, циркуляция в котле не вполне равномерна. На скорость воды влияют изменение подачи топлива в топку, изменение давления и пр. Кроме этого, скорость в циркуляционном контуре может изменяться из-за недостаточности постоянных условий отрыва паровых пузырей от стенок труб.

Если сравнивать среднюю скорость жидкости в отдельных рядах труб конвективных поверхностей нагрева парового котла и в различных трубах одного и того же ряда, то она неодинакова вследствие различного поглощения тепла отдельными трубами и не одинаковой длины труб. По-разному обогреваются и отдельные трубы топочных экранов. На фиг. 6-2 показано по данным ЦКТИ, как изменялась в течение испытания скорость движения воды в нескольких экранных трубах котла.

При сложной картине распределения скорости жидкости внутри циркуляционного контура каждый контур характеризуют одним значением скорости жидкости. Выбирают эту скорость таким образом, чтобы, зная ее, можно было составить представление о свойствах всего циркуляционного контура. В качестве такой характеристики принимают скорость воды на входе в трубы, где начинается испарение. Ее называют скоростью циркуляции.

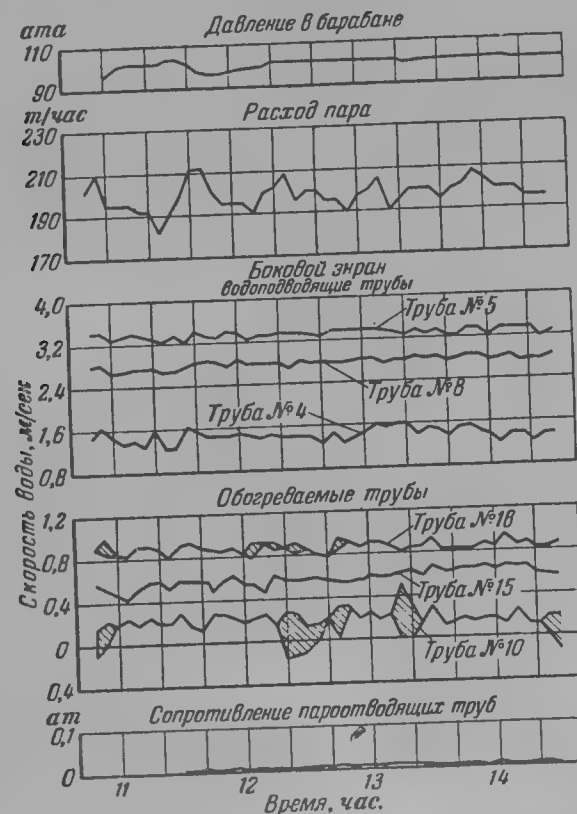
Расчетной скоростью циркуляции считают среднюю скорость при обычных ее колебаниях.

На фиг. 6-1, б скорость циркуляции соответствует скорости воды в нижнем конце трубы 6.

¹ Первый промышленный метод расчета циркуляции в СССР был разработан в 1930 г. Всесоюзным теплотехническим институтом (А. Г. Королевским).

Весьма важное значение имеет вопрос о том, как изменяется скорость циркуляции в зависимости от нагрузки котла.

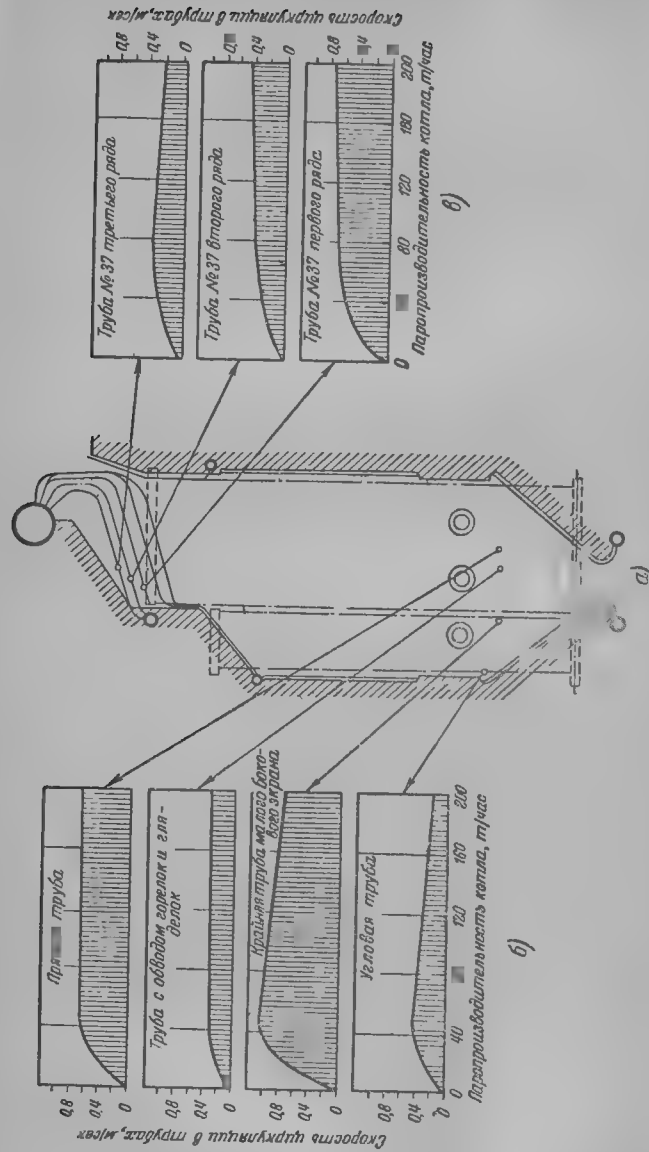
При очень малой нагрузке, т. е. при почти полном отсутствии парообразования, скорость циркуляции равна или



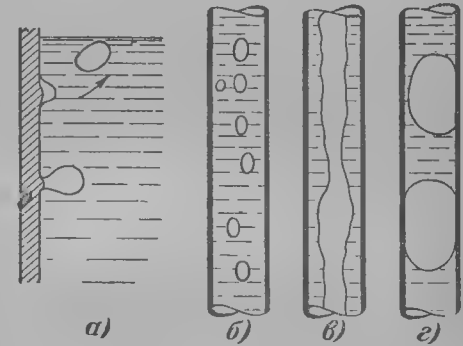
Фиг. 6-2. Изменение скорости движения воды в трубах бокового экрана котла высокого давления. Заштрихованы области пульсирующего движения воды.

почти равна нулю. С повышением нагрузки она увеличивается.

Многочисленные измерения и расчеты показали, что это увеличение скорости циркуляции происходит лишь до некоторого предела. При высокой нагрузке скорость циркуляции



Фиг. 6-3. Изменение скорости циркуляции в отдельных трубах парового котла в зависимости от его нагрузки (по опытам ВТИ).
а — схема котла; б — левый боковой экран; в — конвективный пучок.



Фиг. 6-4. Схема совместного движения воды и пара в трубах парового котла.
а — образование паровых пузырей на шероховатостях стенок; оторвавшийся пузырек относится потоком в среднюю часть трубы; б — движение паровых пузырей при малой тепловой нагрузке; в — концентрическое движение воды и пара; г — образование паровых «пробок» при неправильной циркуляции.

изменяется мало. Это можно видеть на фиг. 6-3, где приведены результаты измерения скорости циркуляции в трубах котла КО-III-200 при различной его паропроизводительности.

При малой нагрузке котельного агрегата всякое изменение его производительности немедленно резко отражается на циркуляции. При высокой нагрузке циркуляция происходит гораздо более устойчиво. Это в значительной мере объясняет то обстоятельство, что большой процент циркуляционных аварий относится к случаям, когда по каким-либо причинам паровым котлам приходилось работать с малой нагрузкой.

Характер процесса парообразования в трубах был уточнен подробными опытами, произведенными советскими научно-исследовательскими институтами. При нагревании воды пар образуется в виде отдельных пузырьков, возникающих большей частью на различных неровностях и шероховатостях металла.

Когда пузырек вырастает, он отрывается от стенки и уносится потоком. Все пузырьки выносятся в среднюю часть трубы, где скорость потока наибольшая. Если пузырей мало, они движутся раздельно, если их много, они сливаются в центральную паровую трубку, окруженную водой (фиг. 6-4).

Опыты показали, что диаметр паровой трубки и толщина кольцевого слоя воды непрерывно изменяются, но разрыва водяной пленки не происходит.

Совместное движение воды и пара в трубе, показанной на фиг. 6-4, б и в, характерно лишь для равномерного или слабо пульсирующего потока. При неправильной циркуляции движение пароводяной смеси становится очень неравномерным и сильно пульсирующим.

В отдельные моменты движение воды и пара вверх прекращается или даже кратковременно движение их происходит в противоположном направлении. Тогда возможно образование «паровых пробок», заполняющих все сечение трубы.

В эти моменты металл соприкасается не с водяной пленкой, а с неподвижным или медленно движущимся паром, вследствие чего охлаждение стенки трубы становится совершенно недостаточным. Через короткое время труба разогревается до очень высокой температуры и ее уменьшается. Под действием внутреннего давления на трубе образуется участок с увеличенным диаметром, так называемая «отдулина».

Следовательно, изображенный на фиг. 6-4,а «пробковый» режим движения является ненадежным и не должен допускаться.

В опытах Энергетического института Академии наук СССР (ЭНИИ) были уточнены условия «пленочного режима» парообразования. Если непрерывно увеличивать количество тепла, подводимого к трубе, то соответственно будет возрастать и количество образующихся паровых пузырьков. При очень большом подводе тепла может наступить момент, когда пузырьки пара будут не успевать отрываться от стенки и образуют на внутренней поверхности трубы паровую пленку. Такая пленка сначала появляется неустойчиво в отдельных местах, но при дальнейшем увеличении подвода тепла полностью покрывает поверхность металла.

При возникновении паровой пленки резко уменьшается количество тепла, передаваемого воде. Стенка трубы быстро перегревается до высокой температуры и перегорает.

Измерения, произведенные в ЭНИИ под руководством М. А. Стыриковича, показали, что опасный для работы котла пленочный режим парообразования может возникнуть лишь при тепловых нагрузках, в 10—20 раз более высоких, чем те, которые имеются в действительности в паровых котлах¹. Пленочным парообразованием нельзя объяснить даже разрывы экранных труб в зоне максимальной температуры факела в топке. Некоторая опасность пленочного парообразования возникает лишь у котлов сверхвысокого давления порядка 185 ат.

Еще на заре развития теплотехники гениальный И. И. Ползунов на основании опытов указывал:

«Что касается до свойства паров, из воды восстающих, они состоят из пузырьков весьма мелких...».

Пузырьковое кипение до сих пор является единственной формой парообразования в промышленных котлах. Здесь упоминается про пленочный режим парообразования только для того, чтобы предостеречь от ошибочных выводов при объяснении случившихся аварий и неполадок.

¹ Тепловой нагрузкой поверхности нагрева называется количество тепла, передаваемого через 1 м² в 1 час. (ккал/м²час)

6-2. ПРИЧИНЫ НАРУШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ЦИРКУЛЯЦИИ ВОДЫ В КОТЛЕ

Характер нарушений циркуляции воды в паровом котле весьма разнообразен.

Ниже описаны наиболее часто встречающиеся виды повреждений с указанием причин возникновения этих нарушений и их последствий.

«Пробковое» движение пароводяной смеси. Основной причиной появления паровых «пробок» в обогреваемой части циркуляционного контура является неравномерность поглощения тепла отдельными трубами. В менее обогреваемых трубах циркуляция воды замедляется. Если неравномерность обогрева велика, то в менее обогреваемых трубах движение воды может прекратиться либо вода начинает двигаться в противоположном направлении, т. е. сверху вниз. Наступает так называемое опрокидывание циркуляции в отдельных, менее обогреваемых трубах циркуляционного контура.

Если бы вся пароводяная смесь равномерно текла сверху вниз, никаких аварий не происходило бы. Но находящиеся в пароводяной смеси пузыри пара всегда стремятся двигаться вверх. Наиболее опасно движение, при котором пар всплывает вверх с такой же скоростью, с какой вода опускается вниз. Тогда паровые пузыри быстро увеличиваются и образуют «паровые пробки», соприкасающиеся со стенками трубы. В следующий момент такая «пробка» прорывается вверх или вниз, после чего вода снова течет неправильно, образуются новые «паровые пробки» и т. д.

Охлаждение стенки трубы неподвижным или медленно движущимся паром происходит очень медленно, поэтому в месте, где одна за другой образуются «паровые пробки», металл труб кратковременно, но многократно разогревается до высокой температуры и под действием давления изнутри постепенно растягивается, образуя «отдулины».

Для возникновения аварии достаточно, чтобы неустойчивый режим работы котла с образованием «паровых пробок» возник лишь при одной какой-либо нагрузке. Если котел только периодически работает с этой опасной нагрузкой, даже и тогда неизбежно постепенное местное изменение диаметра труб, приводящее к их разрыву.

Причины неравномерного распределения воды между экранными трубами могут быть самыми разнообразными. Иногда это может быть следствием неравномерного обо-

грева экранных труб, особенно при малой нагрузке котла, когда факел не заполняет топочную камеру, и одновременно уменьшается средняя скорость циркуляции. Иногда неравномерное распределение воды происходит из-за различного шлакования отдельных экранных труб, например, если в углах топки накапливается большое количество шлака, причем в этом случае следует еще учесть, что тепловая нагрузка крайних экранных труб всегда несколько меньше тепловой нагрузки труб средней части экранов.

Опрокидыванию циркуляции и возникновению аварийного пережога экранных труб может способствовать также неравномерное выгорание зажигательного пояса.

Повышение эксплуатационной надежности циркуляции во многих случаях должно прежде всего осуществляться за счет таких организационных мероприятий, как поддержание нормального бесшлаковочного режима работы топки, своевременного восстановления зажигательных поясов, уменьшения газовых перекосов, наладки устойчивого, непугливающего режима сжигания топлива, поддержания слабо колеблющегося графика нагрузки котлов, при котором уменьшается колебание давления и т. д. Значительное число имевших место аварий было прямо или косвенно связано с подобными отклонениями от устойчивого режима эксплуатации.

Важно отметить, что иногда различные отклонения от нормального режима бывают относительно невелики и не сразу сказываются на надежности эксплуатации. Так, например, неравномерное шлакование может не сопровождаться непосредственным образованием «пробкового» режима и возникновением в отдельных трубах аварийного разрыва металла. В этих случаях персонал, успокоенный многомесячным опытом надежной работы котлов, иногда перестает учитывать, что, хотя и отсутствует повреждение труб, циркуляция воды в них совершается без необходимого запаса надежности и легко может быть нарушена даже при относительно небольшом дополнительном отклонении от установившегося режима работы, например при незначительном, чем обычно, тепловом перекосе в топке, большем выгорании зажигательного пояса и т. п. Поэтому во многих случаях опасным является не непосредственное действие отдельных нарушений правильной эксплуатации, а их совместный эффект в те редкие моменты, когда дватри отклонения от нормального режима работы котла накладываются друг на друга.

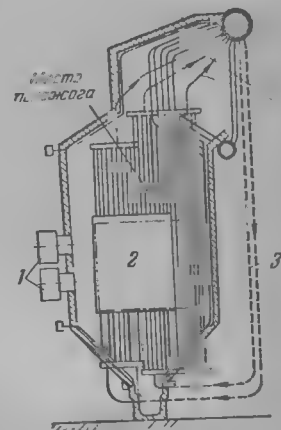
В каждом отдельном случае при аварии парового котла на электростанции, произошедшей из-за нарушения циркуляции, изучение причин аварии должно начинаться с выяснения всех особенностей топочного режима в последние перед аварией часы работы котла. Фиксировать нужно не только наличие обрыва факела и других явных нарушений топочного процесса, но и количество и расположение работавших горелок, степень открытия воздушных шибберов и т. д. При внутреннем осмотре топки нужно подробно зафиксировать контуры шлаковых отложений на поверхностях нагрева и контуры выгорания зажигательного пояса. Только при учете влияния этих особенностей, а также после проверки действий вахтенного персонала могут быть приняты правильные решения относительно выбора дальнейшего режима работы котла.

До настоящего времени количество аварийных повреждений, происходящих из-за неодинакового обогрева параллельно работающих труб, остается значительным.

Ниже приведено несколько примеров повреждений экранных труб, вызванных «пробковым» режимом движения пароводяной смеси.

1. На фиг. 6-5 показана схема реконструированного парового котла. Котел работает на пыли АШ. Вертикальная часть фронтальной стены топки не экранирована, а на боковых экранах установлены зажигательные пояса. Отдушины и пережоги возникали в трубах больших панелей боковых экранов, над зажигательными поясами, в местах, указанных на фиг. 6-5. Вызывались они неодинаковым поглощением тепла в отдельных трубах циркуляционного контура.

В передних, малых панелях боковых экранов, где все трубы были одинаково закрыты зажигательным поясом, пережога труб не происходило. Пережог труб не наблюдался в первые годы эксплуатации и у труб задних панелей, поскольку при сжигании антрацита с повышенной до 25% зольностью происходило усиленное шлакование боковых труб, при котором неравномерность обогрева отдельных труб уменьшалась. Аварии начались после перехода на сжигание топлива с зольностью порядка 16%, когда шлакование топочной камеры почти прекратилось и задние трубы больших панелей боковых экранов стали



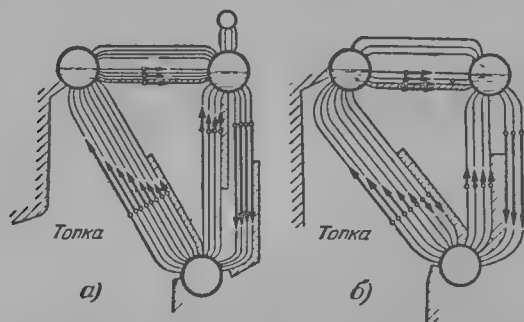
Фиг. 6-5. Пережог труб боковых экранов из-за неправильного расположения зажигательного пояса.

Условным пунктом показано исправленное положение зажигательного пояса.
1 — пылеугольные горелки; 2 — зажигательный пояс; 3 — водоупускные трубы; 4 — отводящие трубы боковых экранов.

получать гораздо больше тепла, чем трубы, частично защищенные зажигательным поясом.

Из-за этого вода в менее обогреваемых трубах двигалась с малой скоростью; иногда движение воды прекращалось или даже происходило в противоположном направлении (книзу). Над зажигательным поясом возникали паровые «пробки», приводившие к перегосу труб.

Для предотвращения дальнейших повреждений была изменена форма зажигательного пояса. Его высоту немного уменьшили, но закрыли



Фиг. 6-6. Схема правильной *а* и неправильной *б* циркуляции воды в трехбарабанном котле. На схеме *б* в последних двух рядах первого от топки пучка труб вода движется вниз, против направления движения пара.

им все трубы боковых экранов, кроме угловых. После этого повреждение труб прекратилось.

2. Пережог труб вследствие образования паровых «пробок» в менее обогреваемых трубах наблюдался также в последних рядах первого конвективного пучка трехбарабанных котлов, работавших на АШ. Эти котлы отличались большей, чем в других конструкциях, неравномерностью обогрева по отдельным рядам труб.

Обычно в трехбарабанных котлах циркуляция воды происходит так, как показано стрелками на фиг. 6-6, *а*. Трехбарабанные котлы либо имеют малый экономайзер, либо совсем его не имеют. Подаваемая в котел вода всегда входит в задний верхний барабан с большим недогревом до кипения. Дальнейший подогрев воды производится при ее движении к нижнему барабану. Поэтому в последнем (считая от топки) пучке кипящих труб парообразование обычно отсутствует или почти отсутствует. Испарение воды осуществляется в основном в обращенном к топке пучке труб. Циркуляция в котле вызывается тем, что в последнем от топки пучке находится вода, а в первом пучке — пароводяная смесь. В переднем верхнем барабане вода и пар разделяются и по верхним и нижним перепускным трубам

направляются в задний барабан, где завершается отделение воды из пара.

Иные условия циркуляции были в упомянутых выше трехбарабанных котлах. Там в последних двух рядах труб первого пучка испарение воды было настолько мало, что пароводяная смесь двигалась не вверх, а вниз, как показано стрелками на фиг. 6-6, *б*. При этом иногда пар всплывал кверху с той же скоростью, с какой вода его относил вниз. Возникали паровые «пробки» и трубы перегорали.

Аварии прекратились после того, как в первые, более обогреваемые, ряды труб были вставлены изображенные на фиг. 6-7 шайбы, тормозящие движение воды. В первые от топки ряды труб стало поступать меньше воды, а в последние ряды — больше. Распределение воды между рядами труб стало более равномерным.

3. У котла высокого давления разорвалась первая слева труба заднего экрана. Причиной повреждения явилось большое выгорание зажигательного пояса из подвесных кирпичей, не обновлявшегося в течение двух с половиной месяцев (котел работал на АШ). Кроме того, перед аварией были сильно зашлакованы углы холодной воронки. Все это привело к разрыву угловой трубы, в которой циркуляция была наиболее слабой.

Поврежденный участок был вырезан и заменен новым. Ясно выраженных отдулин ни на разорвавшейся трубе, ни на соседних трубах не было. Котел очистили от шлака, восстановили зажигательный пояс и снова растопили. Но при подъеме нагрузки опять произошел разрыв трубы в топке. Была повреждена та же труба, несколько ниже нижнего сварного шва новой вставки.

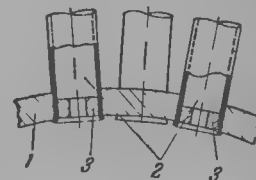
Второй разрыв явился следствием невнимательности персонала котельного цеха, не заметившего небольшого раздутья трубы при первой остановке котла. Второй остановки можно было избежать, если бы диаметр труб был своевременно проверен.

Свободный уровень воды в трубах. В ряде случаев нарушение циркуляции характеризуется образованием в трубах свободного уровня воды.

На фиг. 6-8 схематически показано изменение скорости и направления циркуляции при покрытии отдельных труб шлаком. В менее обогреваемых трубах вода течет сверху вниз (фиг. 6-8, *а*).

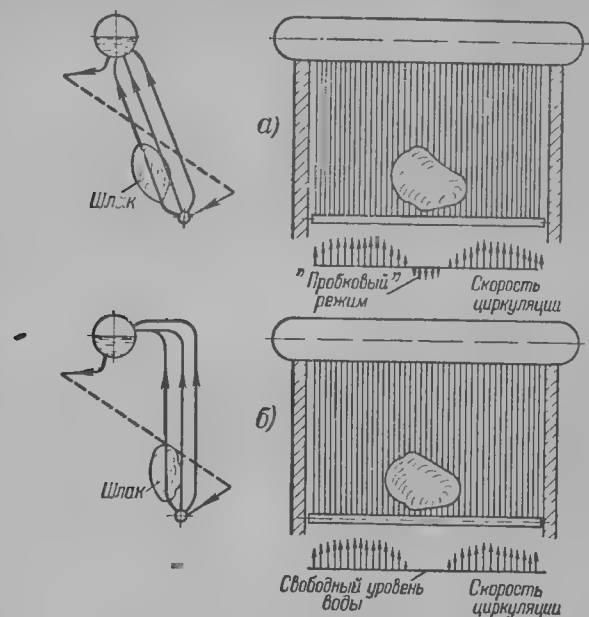
В некоторых котлах обогреваемые трубы входят в барабан выше уровня воды. В таких трубах вода ни при каких обстоятельствах течет сверху вниз не может. При неравномерном обогреве в этих трубах может установиться почти неподвижный свободный уровень воды (фиг. 6-8, *б*).

Таким образом, свободный уровень воды, так же как и «пробковое» ее движение, возникает при нарушении работы



Фиг. 6-7. Установка шайб на концах кипящих труб с целью торможения циркуляции воды. 1 — стенка барабана; 2 — труба; 3 — шайба.

котла. Причины повреждений труб могут быть те же, что и при «пробковом» режиме: неравномерное шлакование, частичное выгорание зажигательного пояса, неустойчивая пульсирующая работа топki и т. д.



Фиг. 6-8. Схема возникновения «пробкового» движения (а) и свободного уровня воды (б) в зоне шлакообразования конвективного трубного пучка.

Котел ТКП-3 (фиг. 6-9) был пущен в эксплуатацию на карагандинском каменном угле. Для снижения температуры перегретого пара между конвективным пучком труб и пароперегревателем был временно установлен шамотный порог, отклонявший дымовые газы к верхней части газохода и тем уменьшивший полезную длину труб пучка, т. е. длину, на которой происходило парообразование. Однако, несмотря на то, что нижняя часть пучка слабо обогревалась дымовыми газами, циркуляция в пучке на протяжении длительного времени проходила вполне устойчиво и надежно.

Через 4 года работы этого котла появилась отдулина в первом, считая от топki, ряду труб пучка, в средней по ширине его части, на расстоянии 1,2 м от верхнего колена. Авария произошла после того, как под котлом стали сжигать иной сорт топлива, что вызвало значительное шлакование фестонированных труб заднего экрана и нижней части самого пучка.

Можно предполагать, что в некоторых, наиболее покрытых шлаком трубах испарение воды было настолько незначительным, что пароводя-

ная смесь не могла подниматься до верхней части труб. В них циркуляция отсутствовала. Вода в этих трубах держалась неподвижно или почти неподвижно и ее уровень почти совпадал с уровнем воды в барабане котла. При большом и неравномерном шлаковании уровень воды в трубах мог быть даже несколько ниже зеркала испарения в барабане, как и было в описываемом случае. В верхних концах труб находился почти неподвижный пар, что создавало опасность аварийного перегрева металла.

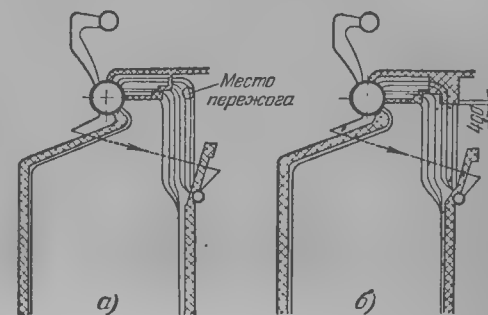
Через месяц на рассматриваемом котле произошла повторная авария, на этот раз на участке несколько выше уровня воды в барабане. Тогда приняли решительные меры по борьбе со шлакованием. Дымовые газы продолжали омы- вать трубы выше уровня воды в барабане, но пережоги не повторялись.

Через 3 года снова был изменен вид сжигаемого топлива. Вследствие этого снова возросло шлакование и, кроме того, повысилась температура дымовых газов. Произошла новая авария, при которой была разорвана труба третьего от топki ряда, а у четырех труб появилось местное раздутие стенок с 83 до примерно 90 мм. Все повреждения были в верхней части газохода, несколько выше уровня воды в барабане.

Был принят ряд различных мероприятий по улучшению топочного режима и уменьшению шлакования. Кроме того, в верхней части газохода были установлены торкретные перегородки, опускавшиеся на 400 мм ниже среднего уровня воды в барабане котла. Верхняя часть труб была, таким образом, полностью изолирована от действия дымовых газов. После этого повреждения труб прекратились.

Свободный уровень воды в трубах может образоваться и тогда, когда верхние концы экранных труб входят в барабан котла на 100—200 мм ниже уровня воды. Такой свободный уровень называется затопленным. Он возможен вследствие того, что входящий в барабан пар препятствует движению воды в обратном направлении. Лишь небольшое количество воды течет навстречу пару в нижней части горизонтального участка труб (фиг. 6-10).

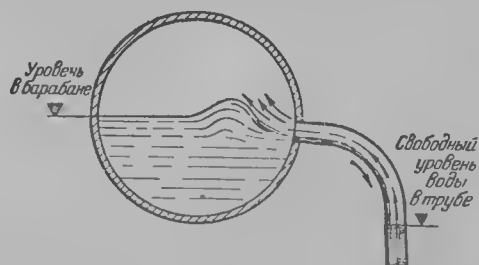
Образование пара в необогреваемых опускных трубах циркуляционного контура. Если в водоопускных трубах какого-либо циркуляционного контура вода движется вниз



Фиг. 6-9. Образование свободного уровня воды в трубах конвективного пучка котла. а — до переделки; б — после переделки.

с очень большой скоростью, то в ней могут появляться паровые пузыри¹.

О возможности образования пара в воде при большой скорости ее движения известно было давно. Еще в 1894 г. с этим явлением столкнулись судостроители при испытании гребных винтов нового быстроходного контрминоносца. Тогда образование пустот за лопастями винтов при большой скорости их вращения повлекло за собой резкую вибрацию всего судна. Явление образования пустот (каверн) в жидкости было названо кавитацией. Кавитация гребных винтов сопровождалась не только вибрацией и толчками, но и разъемлением (коррозией) их лопастей кислородом, выделявшимся из воды при уменьшении давления в образовавшихся пустотах.



Фиг. 6-10. Схема образования «затопленного» свободного уровня воды в трубе.

Внизу горизонтального участка трубы вода течет навстречу поднимающемуся пару.

Наличие пара в водоопускных трубах паровых котлов неоднократно приводило к аварийному нарушению циркуляции и разрыву экранных труб. Так как круговое движение воды — циркуляция — происходит вследствие разницы веса столба воды в опускных трубах и веса столба пароводяной смеси в подъемных трубах, то циркуляция тормозится и даже прекращается, если в опускных трубах, как и в подъемных, находится пароводяная смесь.

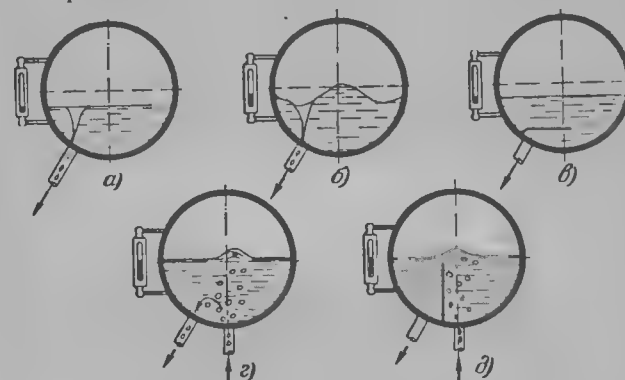
При образовании пара в опускных трубах вода движется неравномерно, толчкообразно. Циркуляция замедляется или даже прекращается, как только возрастает количество пара в опускных трубах. Но при этом немедленно прекращается образование в них пара. Паровые пузыри всплывают вверх, частично они могут быть унесены вниз, и в опускных трубах остается только вода. Тогда снова возникает циркуляция с большой скоростью. В опускных трубах опять появляется пар, который снова начинает тормозить циркуляцию и т. д.

¹ Явление образования пара в опускных, необогреваемых трубах часто называют кавитацией (от латинского слова «каверна», т. е. пустота).

Появление пара в водоопускных трубах может происходить по различным причинам.

1. Пузыри пара образуются в трубах вследствие падения в них давления при большой скорости воды и соответствующего этому снижению температуры кипения. Подсчет показывает, что при этом в трубах образуется лишь очень малое количество пара. Аварии по этой причине возможны только в редких случаях.

2. Появление пара в опускных трубах часто может быть вызвано образованием на поверхности воды в барабане кот-



Фиг. 6-11. Различные случаи образования пара в опускных необогреваемых трубах.

а — воронка при низком положении уровня в водоуказательном стекле; б — образование пара в барабане и при более высоком положении уровня в водоуказательном стекле; в — щиток над водоопускной трубой, препятствующий образованию воронки; г — попадание пара в опускные трубы из лежащих подъемных труб; д — предотвращение попадания пара в опускные трубы путем установки разделительной перегородки.

ла воронок, через которые происходит подсос пара в водоопускные трубы (фиг. 6-11, а и б). Подобные воронки можно наблюдать при вытекании воды из любого сосуда через отверстие, расположенное неглубоко под ее уровнем. Такое объяснение хорошо согласуется с некоторыми особенностями, которые наблюдались при авариях. В частности, иногда удавалось немного уменьшить появление пара в опускных трубах путем установки над ними защитных щитков (фиг. 6-11, в). Возможность образования таких воронок возрастает, если уровень воды в барабане колеблется под действием выходящего из подъемных труб пара (фиг. 6-11, б).

3. Причиной появления пара в опускных трубах иногда является подсос в них паровых пузырей, поднимающихся под уровнем воды. По этой причине аварии возможны в тех

случаях, когда водоопускные и подъемные трубы расположены на небольшом расстоянии друг от друга и не разделены внутрибарабанной перегородкой. Такое явление наблюдалось работниками ЦКТИ на нескольких котлах производительностью 75 т/час (фиг. 6-11,2).

Известны многочисленные случаи, когда появление пара в водоопускных трубах приводило к тяжелым повреждениям оборудования на электрических станциях.

При упуске уровня воды в барабане котла пар начинает поступать в водоопускные трубы задолго до опорожнения барабана. Опасность возникает, когда в барабане над опускными трубами еще имеется слой воды. При возникающей неравномерной, толчкообразной циркуляции трубы перегорают не только в верхней части топочной камеры, но и гораздо ниже, иногда даже на уровне горелок. Разрыв труб иногда происходил не в момент наибольшего упуска уровня воды, а немного позднее, когда уровень уже начал повышаться и когда уже казалось, что опасность миновала. Все это указывает на то, что при упуске уровня нужно опасаться не только оголения верхних концов экранных труб, но и нарушения циркуляции в экранах из-за появления пара в опускных трубах.

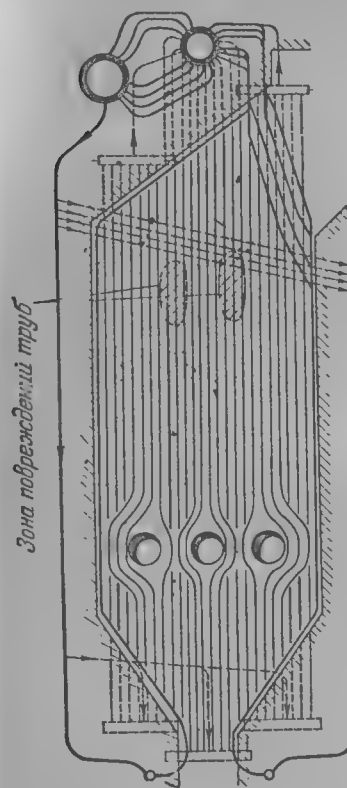
При кратковременном упуске воды на котле высокого давления разорвалась труба бокового экрана, а несколько соседних труб изогнулось в сторону топки с увеличением наружного диаметра на 3—5 мм. Другие трубы того же экрана остались невредимыми. Проверка показала, что повреждены были трубы, которые обогревались на меньшей высоте и в которых циркуляция была несколько ослаблена. Эти трубы первыми вышли из строя, когда появление пара в водоопускных трубах привело к сильно пульсирующей циркуляции (фиг. 6-12).

Согласно § 238 Правил технической эксплуатации котел должен быть немедленно остановлен, если видимость уровня утеряна и уровень не показывается «на подтяжку», т. е. при закрытии у водоуказательной колонки парового крана. Однако не все котлы можно оставлять под нагрузкой до полной потери контроля за уровнем, так как:

а) существуют котлы, в которых появление пара в опускных трубах возникает при более высоком уровне воды, чем указано в ПТЭ; весьма желательно, конечно, переделать водоопускные трубы экранов и тем добиться большего запаса надежности эксплуатации. Но до такой переделки регулирование уровня нужно производить с особой осторожностью;

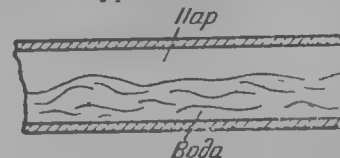
б) контроль положения уровня воды осложняется при палиции у котла ступенчатого испарения (стр. 156). В па-

ряженный момент снижения уровня до границы прямой видимости персонал обычно следит за ним по водоуказательным колонкам чистого отсека, где уровень выше. Когда



Фиг. 6-12. Схема мест расположения отдулин и разрывов труб при упуске уровня воды. Повреждены трубы солевого отсека (средней секции бокового экрана), закрытые на части высоты другими трубами в зоне горелок.

Для ясности на схеме показано уменьшенное число труб бокового экрана.



Фиг. 6-13. Схема раздельного (лоткового) движения воды и пара в горизонтальной трубе.

этот уровень исчезает, его начинают проверять «на подтяжку», забывая про еще более низкий уровень воды в солевых отсеках, что вызывает образование пара в водоопускных трубах. Повреждение труб в котлах со ступенчатым испарением, как правило, происходит в экранах, присоединенных к соевым отсекам.

Для многих котлов, в том числе для всех двухбарабанных котлов ТКЗ высокого давления, контроль положения уровня проверкой его «на подтяжку» запрещен. Эти котлы нужно останавливать немедленно при потере прямой видимости уровня в чистом отсеке ступенчатого испарения.

Раздельное (лотковое) движение воды и пара. Когда при обогреве вертикальной или наклонной трубы в ней образуются пузыри пара, эти пузыри, поднимаясь, отрываются от стенки и уносятся пароводяным

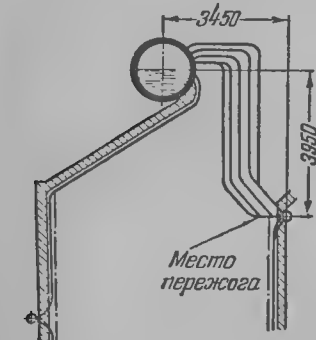
поток. Стенки трубы при этом непрерывно омываются водой. Но в горизонтальных трубах, а также в трубах с малым углом наклона к горизонтали иногда наблюдается раздельное (лотковое) течение воды и пара (фиг. 6-13). Такое

движение возможно только при малой скорости и небольшом содержании пара в пароводяной смеси.

Измерения показали, что при раздельном движении в трубе воды и пара температура в верхней части трубы превышает температуру в нижней ее части не более чем на $80\text{--}120^\circ\text{C}$. Такое повышение температуры, как правило, недостаточно для повреждения трубы. Аварийный разрыв труб при раздельном движении воды и пара возможен при указанных ниже условиях.

1. При отложении шлама в тех участках труб, где скорость воды наименьшая. Это обычно бывает в нижней части труб на горизонтальных участках.

У котла ТКП-1 максимальной производительностью 150 т/час в нижнем конце обогреваемой части труб конвективного пучка имелся горизонтальный участок (фиг. 6-14). После 24 000 час. работы котла со средней нагрузкой 140 т/час появились свищи в нижней части сечения этих труб. В трубах был обнаружен слой шлама толщиной $15\text{--}20\text{ мм}$, покрывавший нижнюю часть горизонтальных участков. Возникновение



Фиг. 6-14. Схема пережога труб в горизонтальном участке конвективного пучка котла.

аварий совпало с изменением режима котловой воды, из-за чего выделение шлама возросло. Расслоение пароводяной смеси с раздельным движением пара и воды в горизонтальных участках явилось косвенной причиной повреждений, так как при раздельном движении скорость воды уменьшалась, что способствовало увеличению отложения шлама.

Повреждение труб прекратилось после изменения формы их нижней части и уменьшения длины горизонтальных участков.

2. При отложении солей на верхней части труб вследствие попадания на них брызг воды и последующего их испарения. Такое отложение солей неопасно, если раздельное движение воды и пара продолжается небольшое время, после чего выпавшие на стенке трубы соли снова растворяются в воде. Но при длительном раздельном движении отложение солей в верхней части трубы может привести к перегреву и разрыву металла.

После разрыва трубы вода немедленно вымывает отложившиеся соли, вследствие чего причину аварий часто не удается установить.

Выпадение солей в верхней части горизонтальной трубы было показано М. А. Стыриковичем (ЭНИН) на специальной установке в лабораторных условиях. Горизонтальная труба диаметром 40 мм , через

которую подавалась вода с различной скоростью, имела электрический обогрев. При уменьшении скорости подачи воды значительно возрастала температура верхней части трубы, что было связано с возникновением раздельного движения воды и пара. Одновременно уменьшалось содержание солей в воде за обогреваемым участком, поскольку часть солей оседала внутри трубы. Когда скорость воды снова увеличивали, выпадение солей прекращалось и накипь начинала размываться водой.

3. При жестком закреплении концов труб. Так как при раздельном движении воды и пара верхняя часть труб нагревается больше нижней, трубы несколько изгибаются. Если концы таких труб жестко закреплены, в них могут возникнуть трещины.

Такие трещины из-за расслоения пароводяной смеси появились на трубах конвективного пучка секционных котлов ЦККБ—ЛМЗ максимальной производительностью 200 т/час . Для ликвидации повреждений скорость движения воды в трубах была увеличена.

Современные конструкции котлов не имеют горизонтальных или слабо наклоненных к горизонтали труб. Раздельное движение может возникнуть только в котлах старой конструкции.

При 35° наименьший безопасный угол наклона труб от горизонтального положения принимается равным 12° . При более высоком давлении нужно, чтобы трубы имели больший наклон.

Неравномерное, пульсирующее движение воды в трубах. Неравномерное, пульсирующее течение воды в трубах паровых котлов возникает при быстром изменении скорости ее движения. Пульсация может возрасти до опасных пределов при очень резкой перемене режима работы котла.

Опыты на моделях показали, что изменение циркуляции в одной или в нескольких трубах немедленно вызывает пульсацию и во всех других трубах циркуляционного контура, причем возможно на мгновение прекращение движения воды и даже кратковременное изменение направления ее движения. При этом, конечно, возможно возникновение «паровых пробок» либо появление свободного уровня воды в трубах.

На стр. 121 указывалось, что в большей части котлов изменение нагрузки влечет за собой лишь небольшое изменение скорости циркуляции. Пульсация при этом, как правило, не возрастает до опасных пределов. Лишь при работе котлов с малой нагрузкой резкое изменение их производительности является опасным.

Опасность пульсаций значительно возрастает в момент изменения давления пара в котле. Измерения показали, что циркуляция может быть нарушена в момент резкого снижения давления. Особо опасным является быстрое повышение давления под нагрузкой.

Влияние снижения давления. Рассмотрим, что происходит в период быстрого снижения давления в котле. Предположим, что котел работал с давлением в барабане 100 ат. Кипение воды при таком давлении происходит при температуре 310°С. Затем давление было снижено до 50 ат. Вода в котле, а также соприкасающийся с ней металл труб и барабанов должны охладиться до новой температуры кипения, в данном случае до 263°С. Чем быстрее снижается давление, тем быстрее происходит охлаждение воды и металла.

За счет освобождающегося при этом тепла часть воды испаряется. Испарение (так называемое самоиспарение) воды происходит во всех трубах и барабанах, в том числе и в водоопускных трубах циркуляционных контуров. Таким образом, в момент снижения давления в котле в водоопускных трубах появляется пароводяная смесь. Это тормозит циркуляцию и при очень быстром снижении давления может привести к возникновению «пробкового» режима либо свободного уровня и в результате этого — к перегосу труб.

Подсчеты показывают, что количество пара, образующегося при самоиспарении, невелико. Опасность возникает либо при очень быстром снижении давления, либо при одновременном сбросе давления и нагрузки.

Влияние повышения давления. Более опасно быстрое повышение давления. В этом случае температура кипения воды соответственно возрастает и часть тепла топлива затрачивается не на испарение, а на подогрев воды и омываемого ею металла до более высокой температуры.

Подсчет для одного из котлов показал, что повышение давления с 50 до 100 ат вызывает уменьшение парообразования, равное примерно одной минутной полной производительности котла. Если это повышение давления произошло за 10 мин., то снижение нагрузки на 10% мало сказывается на условиях циркуляции воды. Условия меняются, если повышение давления было произведено за 1—2 мин.

Если давление повышается при нагрузке, равной 50% от полной, то кратковременное уменьшение паросъема будет действовать в 2 раза сильнее, чем при полной паропроизводительности котла.

Резкое уменьшение парообразования может повлечь за собой торможение и прекращение циркуляции в менее обогреваемых трубах, в результате чего возможен аварийный разрыв труб.

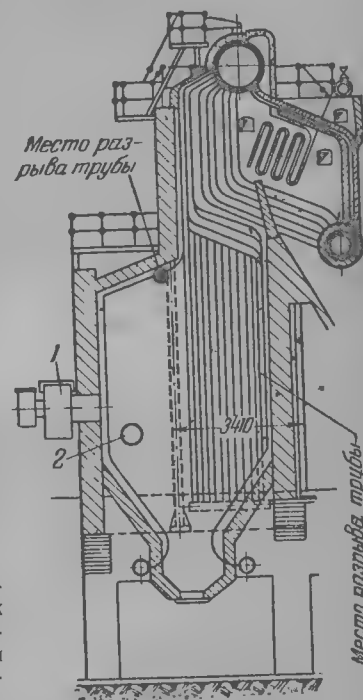
На электростанции высокого давления внезапно вышел из строя питательный насос. Пока были приняты необходимые меры, нагрузку котлов пришлось понизить и давление пара в них уменьшилось со 100 до примерно 50 ат. Нормальное питание котлов водой вскоре было возобновлено и топки котлов были форсированы для быстрого восстановления прежнего давления пара. Повышение давления стремились произвести как можно быстрее. При резком возрастании давления на одном из котлов произошел разрыв экранной трубы, из-за чего котел пришлось немедленно остановить. После этого персонал электростанции был инструктирован о необходимости строгого соблюдения требования о том, чтобы повышение давления как при растопке, так и при ликвидации вынужденного снижения давления пара при работе котла под нагрузкой производилось медленно и плавно.

Приведем другой пример влияния резкого изменения давления на работу котлов.

На электростанции в течение короткого периода времени были введены в эксплуатацию три паровых котла типа ТП-30 на рабочее давление 120 ат. Под котлами сжигался бурый уголь; каждый котел был оборудован двумя турбулентными пылеугольными горелками, расположенными на фронтальной стене топки.

Значительная часть пара расходовалась на производственные нужды завода, причем потребление пара изменялось в широких пределах без всякого предупреждения об этом. Соответственно резко изменялась и нагрузка отдельных котлов, а также давление, снижавшееся в отдельные моменты до 12 ат.

На том из котлов, который раньше других был введен в эксплуатацию, аварийных повреждений экранных труб не было. На другом котле, после месяца работы произошел разрыв второй, если считать от задней стенки топки, трубы правого бокового экрана (фиг. 6-15). При осмотре оказалось, что 7 из 12 труб этого экрана и 10 из 12 труб противоположного левого бокового экрана были изогнуты в сторону топки.



Фиг. 6-15. Продольный разрез котла, у которого при резком изменении давления произошло повреждение экранных труб.

1 — пылеугольная горелка; 2 — чужеродная горелка.

преимущественно в верхней своей части. Наибольшая стрела прогиба составляла около 400 мм.

Следующая авария произошла на третьем из котлов, проработавшем до этого со дня первичного пуска в эксплуатацию всего 2 недели. Разорвалась вторая справа труба фронтального экрана в верхней части лоточного участка.

В обоих этих случаях разрывы были со стороны действия факела, т. е. той части поверхности труб, которая обращена к топке.

Топки обоих котлов не шлаковались, внутренняя поверхность труб была чистой, без следов шлама или накипи. Качество металла и изготовления труб также было удовлетворительным.

Обстоятельства этих аварий можно было изучить по графикам самопишущих приборов, из которых следовало, что в момент аварий уровень воды в барабанах был в границах допустимого и что, следовательно, повреждения труб нельзя было объяснить упуском уровня. Было признано, что основной причиной аварий являлся резко колеблющийся график нагрузки котлов, при котором давление изменялось иногда со скоростью 1 ат в минуту, что нетрудно было подсчитать по записям самопишущих приборов.

Такие колебания были особенно опасны ночью, когда паропроизводительность котлов снижалась более чем в 2 раза. Расчеты показали, что в момент повышения давления со скоростью 1 ат в минуту паропроизводительность котла должна была снижаться днем с 25 до приблизительно 18,3 т/час. Ночью, при средней нагрузке 10 т/час паростем уменьшался более значительно, до 3,3 т/час. Испарение в эти моменты происходило только в верхней части труб, что должно было способствовать опрокидыванию циркуляции и образованию в менее обогреваемых трубах «пробкового» режима движения жидкости. Аварии происходили не в самый момент нарушения циркуляции, а через несколько часов, в течение которых получившая отдулину труба продолжала расширяться до разрыва.

При разработке рекомендаций для предотвращения повторения пережога труб был поднят вопрос о том, следует ли опасаться не только быстрого повышения давления в котлах, но и быстрого его снижения. В данном случае возможность влияния снижения давления была исключена полностью, поскольку питательная вода всегда поступала в барабаны с недогревом до кипения и была всегда несколько недогрета до температуры насыщения в опускных трубах. Поэтому самоиспарение ее в момент снижения давления не могло иметь места.

Практические меры для предотвращения таких аварий оказались несложными. Разрывы труб прекратились после проведения следующих мероприятий:

а) не допускалось появление тепловых перекосов по ширине котлов;
б) в случаях снижения давления повышение его производилось медленно: при полной нагрузке котла не быстрее чем на 1 ат за 2 мин., а при малой нагрузке — до 1 ат за 4 мин.;

в) распределение нагрузки между работающими котлами стали производить по графику, указывающему порядок включения и загрузки отдельных агрегатов при различной нагрузке электростанции. В частности, в этом графике было предусмотрено выключение в горячий резерв части котлов в периоды уменьшения потребления пара с таким расчетом, чтобы оставшиеся котлы работали с большой производительностью.

Следует отметить, что скорость, с какой можно допустить изменение давления, различна для котлов различной

конструкции. Имеются котлы высокого давления, работающие надежно, когда давление в них изменяется быстрее, чем на 4 ат в минуту.

6-3. МЕРЫ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ПОВРЕЖДЕНИИ ЭКРАННЫХ ТРУБ

Перечисленные примеры далеко не исчерпывают причин, из-за которых происходит повреждение обогреваемых труб паровых котлов. Иногда разрыв труб происходит из-за нарушения элементарнейших правил ремонта, как например, оставления в барабане или в экранном коллекторе посторонних предметов. Известны случаи, когда торможение циркуляции посторонними предметами приводило к повреждению труб лишь через длительное время.

Через 3 мес. после пуска в эксплуатацию котла высокого давления произошел пережог одной из труб фронтального экрана. По вскрытии барабана была обнаружена металлическая заглушка, лежавшая над той водоопускной трубой, против которой была включена в нижний экранный коллектор поврежденная обогреваемая труба. Повидимому, забытая в барабане заглушка частично перекрывала сечение водоопускной трубы и тормозила, но не останавливала движение воды. Пережог возник из-за совместного торможения циркуляции заглушкой и окалиной, толстый слой которой был обнаружен в горизонтальных необогреваемых участках труб.

Причины повреждения экранных труб могут быть весьма разнообразны: из-за образования кольцевых трещин в вальцовке, отложения накипи и т. д. Иногда разрыв трубы происходит из-за недоброкачественной сварки. Но и эти причины не исчерпывают всех возможных на практике случаев.

Для предотвращения возможных повреждений экранных труб из-за нарушения циркуляции рекомендуется проведение двух групп мероприятий: режимных и конструктивных, какие должны исполняться в соответствии с конкретными условиями работы паровых котлов на электростанциях. Эти мероприятия увеличивают запас надежности работы котлов. После их проведения несколько уменьшается вероятность аварии при перечисленных выше временных ухудшениях условий эксплуатации.

Режимные мероприятия. К числу основных режимных мероприятий относятся следующие:

1. Для каждой группы котлов одинаковой конструкции и паропроизводительности необходимо установить минимальную нагрузку, при которой процесс горения протекает устойчиво. Работа котлов с нагрузкой меньше установленной безопасного минимума должна быть запрещена.

2. При всех режимах работы котельного агрегата необходимо обеспечить правильное положение факела в топочной камере, выполнение заданного воздушного режима, равномерную загрузку всех пылеугольных горелок и отсутствие пульсации в их работе.

3. Помимо систематически проводимой борьбы с общим шлакованием радиационных поверхностей нагрева необходимо исключить возможность местного образования шлаковых наростов или полос, выключающих в какой-либо степени из обогрева отдельные трубы и панели экранов.

4. При наличии в топочной камере навесного зажигательного пояса необходимо вести систематическое и тщательное наблюдение за его состоянием. Особенно опасным для надежной работы экранов является разрушение части пояса, открывающее лишь часть экранных труб какого-либо циркуляционного контура. При возникновении таких разрушений котел должен быть остановлен в кратчайший срок для восстановления зажигательного пояса.

Конструктивные мероприятия. К числу основных конструктивных мероприятий относятся следующие:

1. Зажигательный пояс не должен закрывать угловых труб соседних экранов, т. е. не закрывать одну-две крайние трубы того экрана, на котором устанавливается пояс.

Эффективность этого мероприятия была, в частности, доказана опытом эксплуатации нескольких паровых котлов высокого давления. При реконструкции этих котлов для защиты колонн каркаса от нагревания было решено увеличить ширину заднего экрана еще на одну трубу с каждой стороны. Вверху и внизу эти расположенные по углам топки трубы были изогнуты вбок и врезаны в соседние крайние трубы заднего экрана, имевшиеся до реконструкции котла. Таким образом, циркуляция в угловых трубах была дополнительно затруднена наличием обшивки для двух труб участков на входе и выходе в коллекторы. В первый период освоения котлов имело место несколько случаев разрыва этих труб в их верхней части.

Повреждения прекратились после того, как без реконструкции экранных труб были освобождены от зажигательного пояса три угловые трубы с каждой стороны заднего экрана.

2. Необходимо обеспечить наличие достаточного числа лючков для расшлаковки радиационных поверхностей нагрева, в особенности угловых труб.

3. В отдельных случаях должно быть применено секционирование топочных экранов, т. е. разделение их на несколько независимых циркуляционных контуров.

Эта рекомендация приобретает особое значение для паровых котлов высокого давления, где неравномерность обогрева отдельных труб

более опасна. В первых котлах высокого давления были повторены оправдавшие себя на повышенном давлении топочные экраны с широкими циркуляционными контурами. Измерения показали значительную неравномерность циркуляции по ширине экранов. В отдельных случаях в угловых трубах отмечались близкие к нулю скорости. Для предотвращения угловых аварий из-за пережога труб в паровых котлах вращения высокого давления устанавливают на каждой стене топки по несколько независимых циркуляционных контуров сравнительно небольшой ширины, с отдельными, относительно короткими, коллекторами.

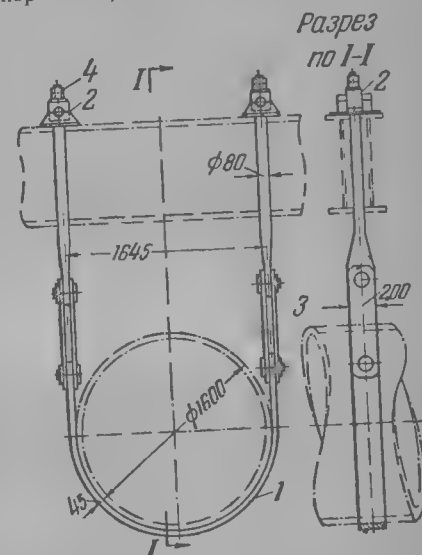
4. Крепление экранов с их необогреваемыми трубами, барабанов и конвективного трубного пучка вместе с нижним барабаном должно обеспечивать необходимое их перемещение при нагревании и охлаждении.

Почти у всех котлов большой производительности экраны с их необогреваемыми водоотпускными трубами висят на верхних коллекторах или барабанах котла. Иногда устанавливают дополнительные крепления, поддерживающие изогнутые трубы, но эти крепления являются вспомогательными. Сами барабаны либо

висят на подвесках на балках каркаса котла (фиг. 6-16), либо лежат на опорах (фиг. 6-17). Конвективный трубный пучок вместе с нижним барабаном также обычно висит на верхних барабанах.

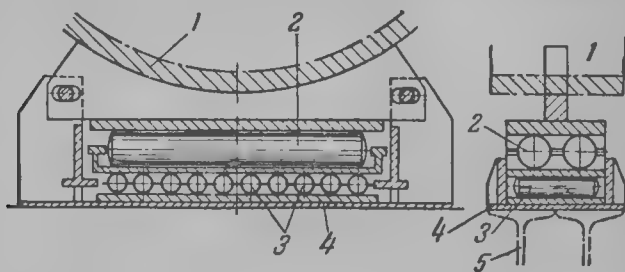
При растопке котла экранные трубы от нагревания удлиняются, а при остановке вновь укорачиваются. У котла большой производительности это тепловое перемещение составляет 40—60 мм, а иногда и более.

Удлиняются при нагревании также барабаны и экранные коллекторы. Свободное тепловое перемещение барабанов достигается тем, что их подвески делают шарнирными, а опоры — роликовыми. Если у котла два верхних барабана, то при растопке они расходятся между собой вследствие удлинения соединяющих их труб.



Фиг. 6-16. Подвеска барабана котла.
1 — скоба; 2 — верхний шарнир; 3 — нижний шарнир; 4 — гайка с контргайкой.

На фиг. 6-18 схематически показано крепление труб фронтального и заднего экранов и конвективного пучка котла ТП-130. Барабан 1 висит на подвесках, изогнутые водоопускные трубы конвективного пучка 9 и заднего экрана 8 имеют вспомогательное крепление 10. У обогреваемых труб в верхнем конце вертикального участка имеются крючья, которые опускаются на опоры при удлинении экрана во время растопки. Этим предотвращается постепенное разгибание верхней части экранных труб под действием собственного веса. В средней и нижней частях трубы удерживаются



Фиг. 6-17. Роликовая опора барабана котла высокого давления.

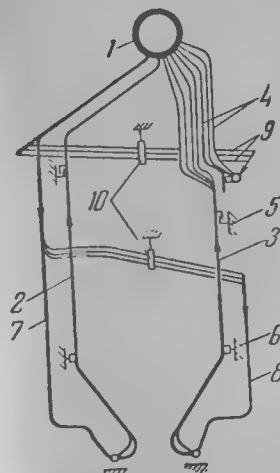
1 — барабан котла; 2 — верхний ряд роликов; 3 — нижний ряд роликов; 4 — неподвижная опора; 5 — балка каркаса котла.

растяжками от перемещения в сторону топки. Крючья и растяжки показаны отдельно на фиг. 6-19. У нижнего коллектора конвективного пучка имеется дополнительная скользящая опора.

Почти у всех котлов, в том числе у котлов высокого давления, обогреваемые трубы присоединяются к барабанам котла на вальцовке. Камеры у котлов 35—44 ат присоединены к обогреваемым трубам на вальцовке, а у котлов высокого давления — на сварке. Водоопускные трубы, имеющие обычно большой диаметр, у большинства котлов присоединяются и к барабанам и к камерам посредством сварки.

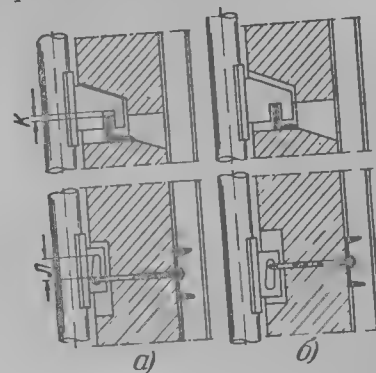
На фиг. 6-20 показана одна из конструкций предохранительной «рубашки» в месте ввода в барабан питательной трубы. При ее наличии труба непосредственно не соприкасается со стенкой барабана. Предохранительную «рубашку» ставят тогда, когда входящая в барабан вода имеет температуру меньшую, чем температура стенки барабана. Если такая «рубашка» отсутствует, то с течением времени вальцовочное соединение становится неплотным. «Рубашки»

устанавливают и на других трубопроводах, по которым в барабан входит вода сравнительно низкой температуры, например на вводе в барабан фосфатов.



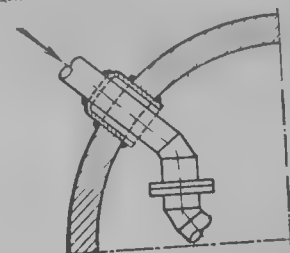
Фиг. 6-18. Схема крепления фронтального и заднего экранов и конвективного пучка котла 35 ат.

1 — барабан; 2 — фронтальный экран; 3 — задний экран; 4 — конвективный трубный пучок; 5 — опоры труб экранов; 6 — растяжки; 7 — водоопускные трубы фронтального экрана; 8 — водоопускные трубы заднего экрана; 9 — водоопускные трубы конвективного пучка; 10 — подвески водоопускных труб.



Фиг. 6-19. Крепление экранной трубы.

а — положение при монтаже; б — положение при работе котла; к и л — зазоры для возможности опускания трубы



Фиг. 6-20. Защитная рубашка в месте ввода в барабан питательной трубы.

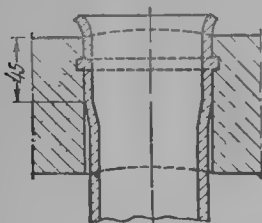
Происходящее при развальцовке пластическое расширение и удлинение трубы имеет свои особенности. Наружный слой металла трубы растягивается лишь до того момента, пока труба не будет прижата к поверхности трубного гнезда. После этого наружный слой трубы почти перестает удлиняться, но удлинение внутреннего слоя продолжается, и внутренний слой несколько смещается относительно наружного.

Поэтому развальцованный конец трубы всегда подвержен значительному внутреннему напряжению, которое тем больше, чем длиннее развальцованный участок.

Канавки в трубном гнезде (фиг. 6-21) служат не столько для увеличения прочности, сколько для уменьшения длины каждого из развальцованных участков и соответствующего снижения напряжения в трубе.

На той же фиг. 6-21 показано, что развальцовка труб котла высокого давления производится на неполную высоту трубного гнезда. Увеличение высоты развальцованного участка привело бы к повышению напряжения в металле.

Иногда в трубах по какой-либо причине возникает большее дополнительное напряжение. Это бывает, например, при заземлении нижней экранной камеры, из-за чего при растопке котла экранные трубы не могут расширяться от нагревания. Тогда развальцованные участки труб, как наи-



Фиг. 6-21. Вальцовочное соединение котла высокого давления.

Развальцовка трубы в трубном гнезде произведена только на глубине 45 мм. Видна кольцевая канавка. Степень развальцовки показана в преувеличенном виде.

более слабое их место, повреждаются в первую очередь. В них появляются трещины, часто имеющие вид кольцевых. Трещины возникают обычно в конце трубы, введенном в барабан, где высота развальцовки больше, чем в коллекторе.

Такие же трещины могут возникнуть и тогда, когда большое дополнительное напряжение в трубах вызвано другими причинами, и в частности из-за прогиба барабанов котла при неравномерном нагревании или охлаждении.

5. Прогрев барабана при растопке. При растопке некоторых трехбарабанных котлов циркулирующая

вода омывает только верхнюю часть нижнего барабана, в нижней же части сохраняется неподвижный слой значительно более холодной воды. Измерения показали, что при подъеме давления разность температуры стенок сверху и внизу барабана доходит до 150—160°С.

Из-за столь неравномерного обогрева неоднократно происходил прогиб нижнего барабана, концы которого опускались и растягивали кипяtilьные трубы. В растянутых трубах появлялись кольцевые трещины в вальцовке.

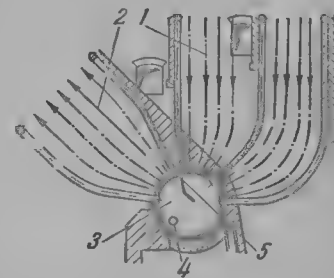
Температурные перекосы могут происходить не только в нижних, но и в верхних барабанах паровых котлов, в период быстрого повышения или снижения давления, когда нижняя половина верхних барабанов охлаждается или нагревается совместно с котловой водой, а в верхней половине, омываемой почти неподвижным паром, изменение температуры металла протекает гораздо медленнее. Подъем и снижение давления должны производиться согласно указанию ПТЭ (см. § 215).

Действенным мероприятием явился паровой прогрев барабанов при растопке.

По измерениям ОРГРЭС при растопке трехбарабанного котла производительностью 100 т/час в течение примерно 3 час. наблюдалась большая неравномерность обогрева нижнего барабана. Разность температуры достигала 100—110°С, прогиб барабана доходил до 8 мм. Температура полностью выравнивалась после установки в нижнем барабане трубы 4 для парового прогрева диаметром 83 мм с отверстиями и направляющих щитков (фиг. 6-22).

Впервые паровой прогрев барабанов при растопке был применен в 1876 г. С. О. Макаровым (впоследствии известным флотоводцем). При боевой тревоге паром от небольших катеров, находившихся на борту военного корабля, в короткий срок производился прогрев главных котлов.

При подаче пара для прогрева барабана растапливаемого котла нужно следить за тем, чтобы давление греющего пара превышало давление в растапливаемом котле. В противном случае котловая вода попадает в паровую линию, используемую для прогрева, и в ней возникают гидравлические удары (см. § 218 Правил технической эксплуатации).



Фиг. 6-22. Паровой прогрев нижнего барабана трехбарабанного котла.

1 — водоупускные трубы; 2 — подъемные трубы; 3 — нижний барабан; 4 — труба парового обогрева; 5 — направляющий щиток.

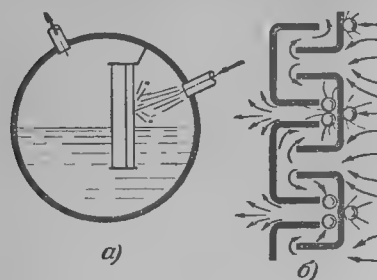
ГЛАВА СЕДЬМАЯ ПАРООСУШАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА И СТУПЕНЧАТОЕ ИСПАРЕНИЕ

Внутрибарабанные устройства паровых котлов включают следующие элементы: устройства для осушения пара (сепарационные устройства), линии подвода фосфатов в котел, линии для отбора проб воды, устройства для непрерывной продувки и др. Наиболее сложными и ответственными являются устройства для осушения насыщенного пара, который из барабана направляется в пароперегреватель.

7-1. ПАРООСУШАЮЩИЕ (СЕПАРАЦИОННЫЕ) УСТРОЙСТВА

Выходящий из барабана пар не должен уносить с собой капель воды. Если котловая вода попадает с паром в пароперегреватель, она испаряется, а растворенные в ней соли остаются на внутренней поверхности змеевиков в виде твердого осадка. Постепенно толщина такого осадка увеличивается и передача тепла от газов к пару затрудняется. Змее-

вики пароперегревателя нагреваются до высокой температуры, близкой к температуре газов, вследствие чего возможны пережог отдельных змеевиков и аварийная остановка котла.



Фиг. 7-1. Схема работы пароосушительных устройств старой конструкции.

а — схема установки пароосушительных устройств в виде вертикальных отражательных щитков в барабане котла; б — схема движения пара и измельчения капель при ударе о переднюю поверхность отражательных щитков и при столкновении потоков внутри их. Измельченные капли почти не улавливаются.

Котлы старых типов малой паропроизводительности с большими барабанами работали, как правило, с докритической нагрузкой. К тому же при низком давлении отложение солей в пароперегревателе менее опасно. Активная борьба за улучшение качества пара и за повышение критической нагрузки котлов началась тогда, когда появились котельные агрегаты повышенного давления с экранированными топками большой производительности.

Для повышения критической нагрузки котла по влажности пара стали устанавливать внутри барабанов сепарационные устройства в виде отражательных щитков, в которых капли воды, по мысли авторов, должны были оседать на поверхности металла и стекать вниз (фиг. 7-1).

Для приближенной оценки возможности осушения пара в барабанах было введено понятие о напряжении зеркала испарения¹. Его измеряют количеством куб.

Особо тщательно должен осушаться насыщенный пар в барабанах котлов высокого давления.

В 1882 г. проф. Бородин, измеряя влажность насыщенного пара на паровозе, установил весьма важную особенность. До некоторой нагрузки котла, которая была названа критической, влажность пара оставалась ничтожной. При увеличении нагрузки котла сверх критической влажность пара резко возрастала.

Если, например, для котла производительностью 200 т/час критическая нагрузка по влажности пара равна 250 т/час, то котел может вполне надежно работать. Но производительность такого котла приходится ограничивать, если, например, его критическая нагрузка равна 180 т/час. Критическая нагрузка, как правило, уменьшается с повышением давления.

метров выходящего из барабана насыщенного пара, приходящегося на 1 м² расчетной поверхности воды в барабане при среднем положении ее уровня. Для котлов старых типов напряжение зеркала испарения было невелико; различными конструкциями внутрибарабанных устройств это напряжение стремились повысить¹.

Образование пены и борьба с ней. Было выявлено, что критическая нагрузка весьма сильно зависит от солевого содержания котловой воды. При увеличении содержания в воде растворенных солей уменьшается допустимое напряжение зеркала испарения. Поэтому для улучшения качества пара иногда уменьшают содержание котловой воды путем усиленной непрерывной продувки, хотя это приводит к нежелательной потере воды и тепла. Но не все растворенные в котловой воде соли в равной мере влияют на качество пара. Больше других действуют едкий натр и другие щелочи, а также фосфаты. Недопустимо наличие в котловой воде масла.

Такое неодинаковое действие различных солей объясняют образованием на поверхности воды слоя пены. Высота слоя пены может увеличиться так, что отдельные ее «хлопья» начинают выдуваться паром из барабана в пароперегреватель.

При еще более высоком слое пены унос ее в пароперегреватель становится непрерывным. Солевое содержание пара при этом резко увеличивается. Во многих случаях критической является та нагрузка котла, при которой слой пены достигает опасной высоты.

С повышением давления пена образуется, обычно, при меньшем содержании солей в котловой воде.

Надежным способом уменьшения вреда от пенообразования является размывание пены питательной водой. Сущность этого процесса заключается в том, что питательная вода вводится в соприкосновение с пеной. Так как содержание солей в питательной воде гораздо меньше, чем в котловой воде, то соли, образующие пену, растворяются в питательной воде и высота слоя пены уменьшается.

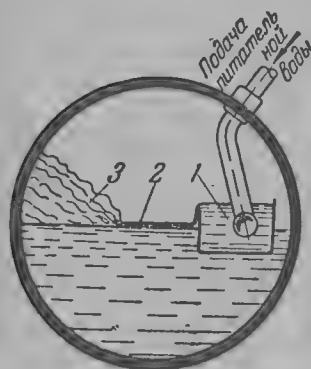
На фиг. 7-2 показано простейшее устройство для размывания пены. Питательная вода, переливаясь через край питающего корыта 1, поглощает пену. Такой способ размывания пены можно применять только тогда, когда питательная

¹ Зеркалом испарения называют условную горизонтальную плоскость, соответствующую уровню воды в барабане.

¹ Унос солей паром при докритических нагрузках, обычно, невелик.

вода входит в барабан котла подогретой до температуры кипения. В противном случае она, как более холодная, опускается под уровень котловой воды и размыва пены не происходит. Нельзя делать такого размыва пены также и там, где уровень воды сильно колеблется под действием поднимающейся под уровнем пароводяной смеси.

На многих котлах очистка насыщенного пара от пены производится путем промывки питательной водой в верхней половине барабана.



Фиг. 7-2. Схема размыва пены питательной водой.

Размыв пены затрудняется, если фонтаны, возникающие над уровнем воды, перемешивают питательную и котловую воду. 1 — питательное корыто; 2 — слой питательной воды; 3 — пена.

Мероприятия, предотвращающие вспенивание, надо проводить в следующей очередности:

а) снизить уровень воды до низшего допустимого; б) полностью открыть непрерывную продувку котла и продувку пароперегревателя; открывать продувку нижних экранных точек не следует; в) временно снизить нагрузку котла до полного прекращения вспенивания; г) проверить режим котловой воды; д) при ближайшей остановке котла проверить состояние внутрибарабанных устройств.

Осушение пароводяной смеси в барабане котла. Не всегда, однако, критическая нагрузка связана с пенообразованием. Ухудшение качества пара может наступить и при механическом забросе в пароперегреватель капелек и брызг

воды. Внутрибарабанные устройства должны предотвращать возможность такого увлажнения пара.

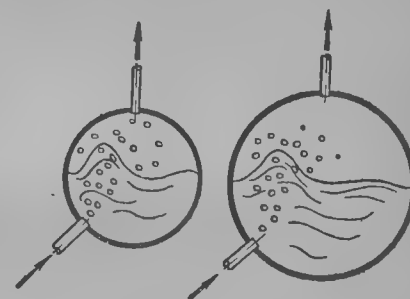
Способы очистки пара были значительно усовершенствованы в первые послевоенные годы, когда производилось подробное изучение процесса отделения влаги с наблюдением, фотографированием и съемкой на киноплёнку действительных условий движения влажного пара в барабане.

Оказалось, что процесс осушения пара, а следовательно, и конструкция паросушительных устройств зависят прежде всего от того, входит ли пароводяная смесь в барабан под уровень воды или же в паровое пространство.

Если пароводяная смесь поступает в барабан под уровень воды при малой нагрузке котла, когда через воду в барабане проходит лишь небольшое количество пара, то никакие дополнительные паросушительные устройства не требуются. При более высоких нагрузках вода над трубными отверстиями начинает фонтанировать. Высота таких «фонтанов» растет по мере увеличения паропроизводительности котла. Действие внутрибарабанных устройств должно в основном заключаться в том, чтобы воспрепятствовать нарастанию бьющих над уровнем «фонтанов». Следует отметить, что во всех случаях условия очистки пара облегчаются по мере увеличения высоты парового пространства.

У большинства котлов повышенного давления, изготовленных в последние годы советскими котлостроительными заводами, барабаны выполнены с внутренним диаметром 1500—1600 мм. С 1955 г. и для котлов высокого давления барабаны стали изготовлять большого диаметра.

На фиг. 7-3 показано, как влияет высота парового пространства барабана на критическую нагрузку зеркала испарения. Высота «фонтанов» на обеих схемах одинакова, но при высоком уровне воды «фонтаны» и брызги воды над ними достигнут места включения паропроводящих труб раньше в барабане меньшего диаметра. Кроме того, при высоком



Фиг. 7-3. Влияние высоты парового пространства в барабане на качество насыщенного пара. В барабане меньшего диаметра брызги воды легче достигают паропроводящей трубы.

паровом пространстве в барабане облегчается борьба с уносом пены.

Из сказанного следует, что так называемое зеркало и испарения в действительности весьма далеко от зеркальной поверхности.

При чрезмерном повышении уровня воды пар начинает увлажняться задолго до того, как вода заполняет весь верхний барабан. В некоторых котлах во избежание уноса солей паром приходится поддерживать уровень воды ниже оси барабана. На всех электростанциях запрещено повышать уровень воды выше верхней отметки на водоуказательной колонке.

В случае ввода пароводяной смеси в барабан над уровнем воды осушение пара значительно облегчается благодаря тому, что из экранных труб всегда входят в барабан только крупные капли воды. Первая и основная задача должна заключаться в том, чтобы не допустить размельчения этих капель и образования водяной пыли. Улавливание крупных капель и брызг воды относительно нетрудно, гораздо труднее уловить мельчайшую водяную пыль (туман).

Размельчение капель воды в барабане котла происходит при столкновении двух пароводяных потоков и при ударе пароводяного потока о стенку, перегородку или об уровень воды (фиг. 7-1).

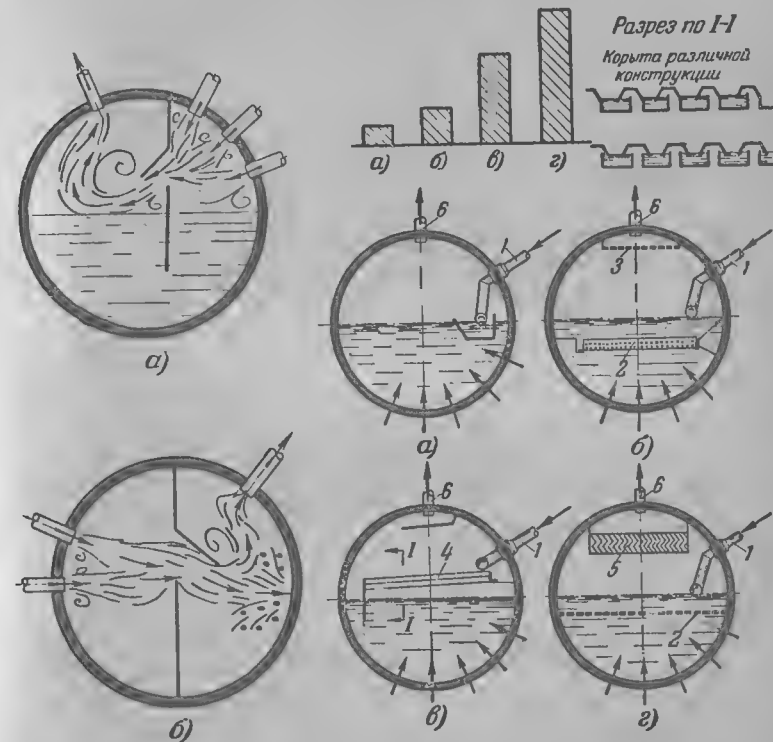
Разбрызгивание воды при ударе об уровень воды или о металлическую стенку зависит от скорости пароводяного потока. При малой скорости разбрызгивание уменьшается. В еще большей мере разбрызгивание зависит от угла между направлением струи и поверхностью стенки или уровня воды. Разбрызгивание не получается при косом ударе потока о наклонную стенку барабана. Более того, есть основание полагать, что при косом ударе капли воды оседают на поверхности щитка.

В 1935—1936 гг. ВТИ последовательно испытывал эффективность различных пароосушительных устройств. Лучшие результаты были получены при простой наклонно расположенной щели в отражательном щитке, изображенной на фиг. 7-4. Такие отражательные щитки стали внедрять при реконструкции внутрибарабанных устройств различных паровых котлов. Иногда установка этих щитков приносила явную пользу и увеличивала критическую нагрузку котла. В других случаях «наклонная щель» не давала эффекта или даже ухудшала качество пара.

Действие «наклонной щели» зависит прежде всего от того, под каким углом ударяется пароводяной поток о поверхность за щелью. В первоначальных опытах на модели этот удар происходил под острым углом. То же осуществлено на фиг. 7-4,а. Но при прямом ударе

(фиг. 7-4,б) происходит разбрызгивание капель воды и «наклонная щель», конечно, приносит только вред.

Примеры схем пароосушающих (сепарационных) устройств. Ниже описано несколько наиболее распространенных схем пароосушительных устройств, внедренных в пос-



Фиг. 7-4. Схема пароосушительного действия наклонно расположенной щели в отражательном щитке.

а — полезное действие при косом ударе потока за щелью об уровень воды в барабане — капли влаги оседают на поверхности воды; б — вредное действие при прямом ударе потока за щелью о стенку сухопарника.

Фиг. 7-5. Различные схемы пароосушительных устройств при подаче пароводяной смеси в барабан котла под уровень воды.

Вверху условно показана их сравнительная эффективность (по данным ЦКТИ).

1 — подача питательной воды; 2 — дырчатый щит в водяном объеме барабана; 3 — дырчатый щит в паровом объеме барабана; 4 — сатерейные щиты ЦКТИ; 5 — жалюзийный сепаратор ЦКТИ; 6 — выход пара из барабана.

ледние годы ЦКТИ и котлостроительными заводами СССР. На фиг. 7-5,а изображена наиболее простая схема, когда в барабане имеется лишь питательное корыто.

На фиг. 7-5,б изображено одно из устройств, применяемых в случае, когда большая часть пароводяной смеси входит в барабан под уровень воды. Оно состоит из ребристых или плоских дырчатых щитов 2, расположенных в водяном пространстве барабана. Щиты тормозят движение вверх пароводяной смеси. Пар над щитами поднимается по большей поверхности, что обеспечивает более спокойное зеркало испарения. Вторые щиты 3 расположены в паровом пространстве барабана, перед выходом пара. Они служат для предотвращения возможности попадания брызг воды в отводящие трубы. Питательная вода выходит из трубы 1 и разливается по поверхности уровня воды в барабане. Этим достигается размыв пены.

Наблюдения на опытной установке показали, что тормозящее действие таких дырчатых щитов получается тем больше, чем меньше диаметр отверстий в них. При отверстиях диаметром порядка 15 мм тормозящее действие было недостаточно, пар поднимался не по всей поверхности щитов, а только над подъемными трубами. Над уровнем продолжали бить «фонтаны», хотя и меньшей высоты, чем при отсутствии щитов. Наиболее целесообразными считаются отверстия диаметром 10 мм. Отверстия меньшего диаметра легко засоряются шламом.

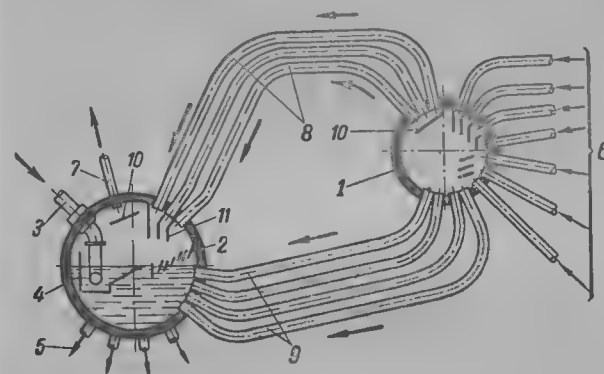
Сравнительные испытания на опытной установке и в промышленных условиях на котле ТС-30 показали, что более эффективны устройства, изображенные на фиг. 7-5,в. Это — так называемые батарейные щиты, предложенные ЦКТИ.

Питательная вода поступает в барабан по трубам 1 в горизонтальный разводящий коллектор и из него через горизонтальные щели входит в слабо наклоненные к горизонту корыта 4. Вода течет вдоль корыт и стекает с другого их конца в водяное пространство барабана. Пар проходит через заполняющую эти корыта воду и при его движении с малой скоростью брызги воды и пена задерживаются питательной водой в корытах. При этом распределение скорости пара по сечению внутрибарабанного устройства получается более равномерным, чем при работе дырчатого щита. Однако и при этих устройствах часть капель воды может проходить через корыта 4 и отделяться над щитами при выходе пара с очень малой скоростью.

Неполадки при внедрении батарейных щитов ЦКТИ происходили главным образом в тех случаях, когда щиты были расположены непосредственно над уровнем воды. Тогда наиболее мощные «фонтаны» проходили сквозь корыта с водой. Размещать щиты в верхней части барабана, вдали от уровня воды также нежелательно, ибо пар над щитами должен подниматься с очень малой скоростью.

На одном из котлов установка батарейных щитов не дала эффекта. Расстояние от щитов до уровня воды было такое же, как и на других котлах. Щиты уже собирались удалить, когда было обнаружено, что подпоказательные колонки давали искаженные показания. Действительный уровень воды в барабане был выше видимого и котловая вода доходила до самых корыт.

Еще более эффективно по данным ЦКТИ работает устройство, изображенное схематически на фиг. 7-5,г. В водяном пространстве барабана сохранены дырчатые щиты 2. В паровом объеме установлены жалюзийные сепараторы 5, в которых пар проходит с малой скоростью по извилистым



Фиг. 7-6. Внутрибарабанное устройство чистого отсека котла высокого давления.

1 — раздельный барабан; 2 — основной барабан; 3 — подача питательной воды; 4 — питательное корыто; 5 — водоопускные трубы экранов; 6 — верхние концы труб фронтального и заднего экранов; 7 — отвод насыщенного пара; 8 — верхние перепускные трубы; 9 — нижние перепускные трубы; 10 — отражательный щиток, защищающий место выхода пара из барабана от брызг воды; 11 — наклонные отбойные щитки.

щелям между металлическими щитками и оставляет на их поверхности влагу, которая затем собирается в крупные капли.

Во многих котлах высокого давления пароосушительные устройства в барабанах выполняют вспомогательную роль. Осушение насыщенного пара обеспечивается главным образом самой схемой циркуляции с раздельным верхним барабаном. На пути пароводяной смеси дважды осуществляется резкое уменьшение скорости, что благоприятствует разделению потока на воду и пар.

На фиг. 7-6 схематически изображены внутрибарабанные устройства серийных котлов высокого давления ТКЗ типа ТП-230-2. Действие устройств, размещенных в верхнем

барабане, заключается в том, что пароводяной смеси придается вращательное движение вокруг продольной оси барабана. Для этого по всей длине верхнего барабана установлены отбойные щитки. При вращательном движении вода стекает, а пар с относительно малым содержанием воды поднимается в верхнюю часть барабана.

Из верхнего разделительного барабана вода и пар направляются в основной барабан двумя потоками — по верхним, так называемым пароперепускным трубам и по нижнему, водоперепускному пучку труб. В нижнем пучке труб с водой проходит небольшое количество пара, для отделения которого не требуется никаких особых устройств в нижнем барабане.

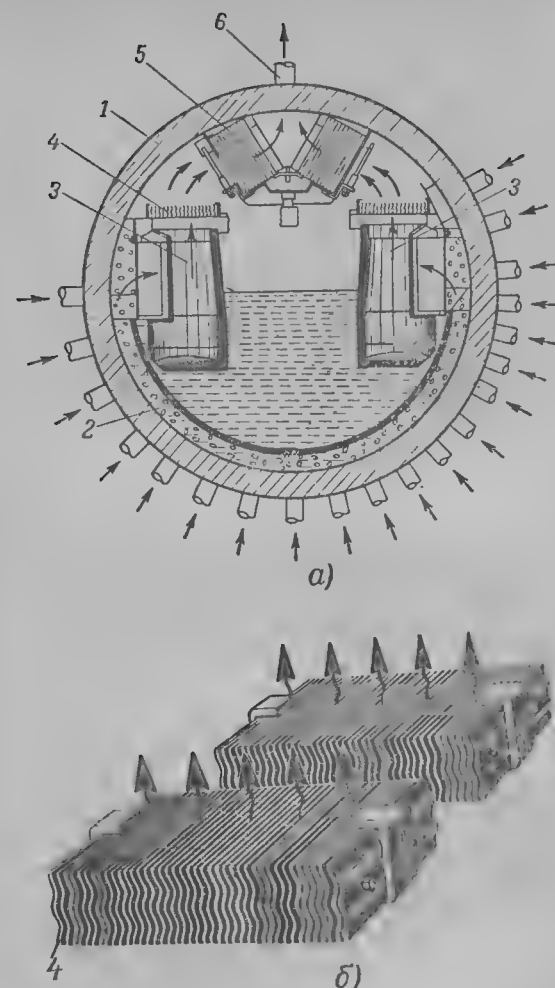
Через верхние перепускные трубы проходит пароводяная смесь с малым содержанием воды. Главная опасность при вводе ее в барабан выше уровня заключается в возможности распыливания влаги при ударе об уровень воды, ибо последующее улавливание мелких брызг затруднительно.

Предотвращение такого удара производится путем установки специальных отбойных щитков как в месте выхода пароводяной смеси из перепускных труб в паровое пространство барабана, так и на уровне зеркала испарения. Щитки расположены наклонно по отношению к направлению движения струи и при ударе о них разбрызгивания воды почти не происходит. Отделение крупных капель обеспечивается малой скоростью подъема пара в нижнем барабане. Часть влаги оседает на поверхность воды, другая часть удерживается на металлических щитках и затем стекает. Дополнительный щиток 10 защищает выход пара в пароперегреватель от попадания случайных брызг.

Значительно отличается от описанных выше конструкций установка, изображенная схематически на фиг. 7-7, в которой осушение пара производится приданием ему вращательного движения во внутрибарабанных циклонах.

Пароводяная смесь из бокового экрана попадает в полукольцевой отсек, ограниченный щитом 2. Поднимаясь, пароводяная смесь входит в два циклона 3, в которых она приобретает вращательное движение, вследствие чего происходит отделение пара от воды. Вода выходит через отверстия в нижней части циклонов, а пар поднимается по пути, показанному стрелками, проходит сквозь дополнительные осушающие устройства в виде жалюзийных щитов 4 и 5 и выходит через трубы 6 вверх барабана.

При ровном графике нагрузки котла внутрибарабанные



Фиг. 7-7. Установка внутрибарабанных паросушительных циклонов.

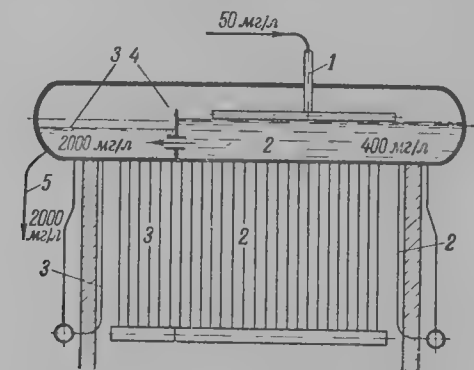
Стрелками показано направление движения пара.
а — схема установки циклонов; б — конструкция жалюзийных щитов. 1 — барабан котла; 2 — направляющий корытообразный щит; 3 — паросушительный циклон; 4 — жалюзийный щит; 5 — второй жалюзийный щит; 6 — выход пара из барабана котла.

циклоны осушают пар вполне удовлетворительно. Но их работа иногда ухудшается в момент резкого изменения нагрузки. В эти моменты уровень воды внутри циклонов значительно колеблется, в результате чего возможен выброс воды и пены из верхней части циклона и ухудшение качества насыщенного пара.

В конструкции, изображенной на фиг. 7-7, резкие изменения нагрузки котла сопровождаются выбрасыванием воды из циклонов 3. Но качество пара не ухудшается, так как вода задерживается жалюзийными щитами 4 и 5.

7-2. СТУПЕНЧАТОЕ ИСПАРЕНИЕ

Разработанное в СССР проф. Э. И. Роммом ступенчатое испарение состоит в том, что часть поверхности нагрева выделяют в так называемые соленые отсеки, в которых котловая вода имеет более высокое содержание солей. Непре-



Фиг. 7-8. Принципиальная схема работы двухступенчатого испарения.

1 — подача питательной воды; 2 — чистый отсек; 3 — солевой (соленый) отсек; 4 — разделительная перегородка; 5 — непрерывная продувка котла.

рывная продувка производится только из соленых отсеков (фиг. 7-8), что обеспечивает уменьшение потери воды и тепла с непрерывной продувкой.

Если бы вся котловая вода имела такое содержание солей, какое имеют соленые отсеки, то потребовались бы громоздкие способы очистки пара. При ступенчатом испарении затрудняется очистка только той части пара, которая выходит из соленых отсеков.

Например, если в соленый отсек, расположенный с левой стороны котла, включено 15% испарительной поверхности

нагрева, то при паропроизводительности котла 100 т/час в экранах соленого отсека ежечасно испаряется 15 т воды. Примем солесодержание питательной воды 50 мг/л. Вся питательная вода вводится в больший, так называемый чистый отсек. Котловая вода в этом отсеке имеет солесодержание 400 мг/л. Большая часть воды — в нашем примере 85 т/час из 100 т/час — испаряется при сравнительно невысоком солесодержании. Если даже отдельные брызги воды попадают в пароперегреватель, они уносят с собой сравнительно мало солей. В данном случае не приходится опасаться и высокого слоя пены.

Часть воды из чистого отсека проходит в соленый отсек через насадку в разделительной перегородке 4 (фиг. 7-8). Эта вода с солесодержанием 400 мг/л является как бы питательной водой для соленого отсека, в котором котловая вода имеет более высокое содержание солей. В нашем примере оно равно 2000 мг/л.

Очистка пара, выходящего из соленого отсека, более затруднительна. Этот пар осушают особо тщательно, однако с ним иногда уходит в пароперегреватель некоторое количество солей. Но такого пара немного — всего 15%.

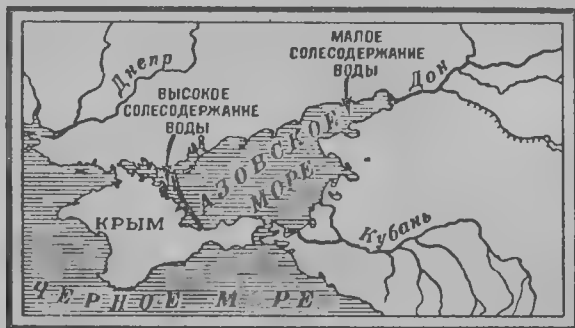
Непрерывная продувка присоединена только к соленому отсеку. С каждым литром удаляемой воды выносятся 2000 мг солей, следовательно, продувать котел нужно примерно в 5 раз меньше, чем без ступенчатого испарения, когда продувочная вода имела бы солесодержание 400 мг/л. Таков в самых основных чертах принцип ступенчатого испарения в паровом котле.

Неодинаковое солесодержание воды при испарении наблюдается и в природе. Так, основное «питание» Азовского моря происходит в его восточной части, от р. Дона (фиг. 7-9). Испарение воды примерно одинаково по всей поверхности моря. Поэтому соленость морской воды вблизи устья р. Дона гораздо меньше, чем в западной части Азовского моря, у берегов Крыма, в Севастополе.

Ступенчатое испарение применено почти во всех конструкциях котлов большой производительности, изготавливаемых союзными котлостроительными заводами. Большей частью устанавливают два симметричных соленых отсека. В них выделяют торцевые отсеки котельных барабанов и часть поверхности нагрева боковых экранов; перетекание воды через насадки в разделительных перегородках между отсеками совершается, когда уровень воды в чистом отсеке несколько выше, чем в соленых.

В первых котлах со ступенчатым испарением были установлены простые разделительные перегородки между отсе-

ками с отверстиями для перетекания воды. В настоящее время разделительные устройства изготавливают по более сложной схеме. Соленому отсеку придают вид замкнутого короба, в котором зеркало испарения практически отсутствует; здесь происходит лишь предварительное грубое разделение воды и пара. Существенную роль выполняют так называемый промежуточный объем. Пар выходит из соленого отсека 3 через отверстие со стороны торца барабана



Фиг. 7-9. Действие „ступенчатого испарения“ в природе.

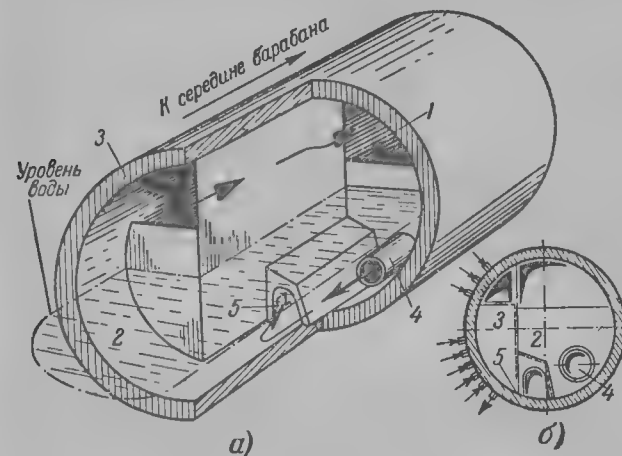
Вода Азовского моря имеет меньшее солесодержание вблизи устья р. Дона. Наибольшее солесодержание воды наблюдается в противоположном конце Азовского моря, у берегов Крыма (в Сиваше).

бана (фиг. 7-10,а), затем поворачивает и с малой скоростью направляется к чистому отсеку. Под ним тоже с малой скоростью в противоположном направлении течет вода. В водяное пространство промежуточного объема не введено ни одной экранной трубы, поэтому уровень воды в нем не колеблется. При медленном движении пара над спокойной водой из него отделяется значительная часть влаги, а при большой длине пути от соленого до чистого отсека затрудняется движение пены над водой к разделительной перегородке.

В некоторых конструкциях ступенчатого испарения дополнительно усложняют путь пара, заставляя его при выходе из промежуточных объемов поворачивать книзу и проходить над уровнем воды для лучшего отделения влаги. После этого пар из соленых отсеков проходит через паросушительные устройства чистого отсека. Таким образом, пар из соленых отсеков барабана котла проходит весьма сложный путь, причем для осушения его используются паро-

вой объем у торцов барабана и устройства для очистки пара в чистом отсеке ступенчатого испарения.

Конструкция соленого отсека бывает различной. На фиг. 7-10 виден короб, установленный с одной стороны барабана. С другой стороны (передней) расположен промежуточный объем. Вода входит из чистого отсека через насадок 4, поворачивает под перегородку и поступает в со-



Фиг. 7-10. Схема работы промежуточного объема и соленого отсека ступенчатого испарения котла ТП-230-2.

а — схема устройства ступенчатого испарения; б — вид с торца барабана. Верхние стрелки левой схемы показывают путь пара; нижние стрелки — путь воды. 1 — чистый отсек; 2 — промежуточный объем; 3 — соленый отсек; 4 — насадка для подачи воды из чистого отсека в промежуточный объем; 5 — первое из нескольких отверстий для входа воды из промежуточного объема в соленый отсек.

Уровень воды показан условным пунктиром.

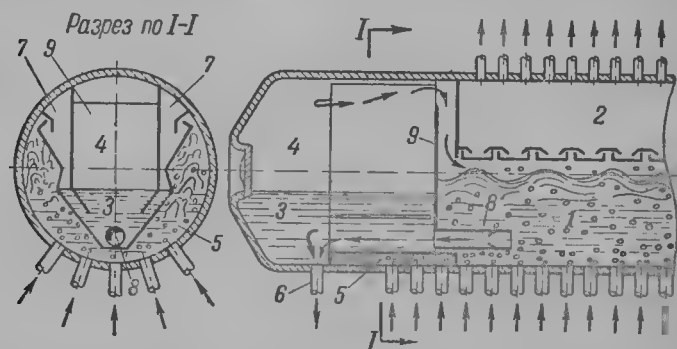
лennyй отсек сквозь несколько прямоугольных вырезов 5 в нижней части вертикальной разделительной перегородки.

На фиг. 7-11 показан продольный и поперечный разрезы другой конструкции ступенчатого испарения. Соленый отсек представляет собой подковообразную камеру 5, в которую вводится пароводяная смесь и из которой отводится вода в опускные трубы 6 экрана. Во внутренней части «подковы» находится промежуточный объем 3, куда вода вводится из чистого отсека через насадок 8 и откуда она через торцевую часть барабана выходит в соленый отсек 5.

Пар из подковообразной камеры 5 выходит через лабиринтовые щели в узкое пространство 7 между камерой 4 и

пароотделительной стенкой. Здесь шар движется к торцу барабана, поворачивает на 180° и затем движется к чистому отсеку с малой скоростью в широком пространстве 4 между перегородками.

Пройдя над разделительной перегородкой 9, пар из соленого отсека поворачивает вниз и над зеркалом испарения совершает еще один поворот, также способствующий



Фиг. 7-11. Схема работы котла со ступенчатым испарением. Стрелки показывают направление движения воды, пара и пароводяной смеси. 1 — водяной объем чистого отсека барабана; уровень 40% действует пароводяной смеси из экранных труб; 2 — паровой объем чистого отсека барабана; пар поднимается с малой скоростью; отдельные брызги воды не достигают до пароотводящих труб; 3 — водяной объем промежуточного объема со спокойным уровнем воды; 4 — паровой объем промежуточного пространства, в котором выходит пена из соленого отсека, но только отдельные хлопья ее (пены) проходят в чистый отсек; 5 — соленый отсек над разделительной перегородкой (на схеме пена не показана); 6 — влажный пар с пеной поступает в пространство 7, откуда также выходит со стороны торца барабана в паровое пространство промежуточного объема 4; затем паровой поток поворачивает к чистому отсеку по пути, указанному стрелками; 8 — насадка между чистым отсеком и промежуточным объемом; 9 — разделительная перегородка между соленым и чистым отсеками.

отделению некоторого количества влаги. После этого пар проходит через сепарационные устройства чистого отсека.

Неполадки в работе ступенчатого испарения. Неполадки, связанные с неправильной работой ступенчатого испарения, могут быть весьма разнообразны. Иногда разность уровней воды в соленом и в чистом отсеках превышает рекомендованное значение из-за того, что мал диаметр соединительного патрубка для перетекания воды в соленый отсек. Расхождение уровней уменьшается после установки патрубка большего диаметра.

В других случаях уровень в соленых отсеках понижался из-за недостаточного сечения выхода пара в чистый отсек над разделительной перегородкой.

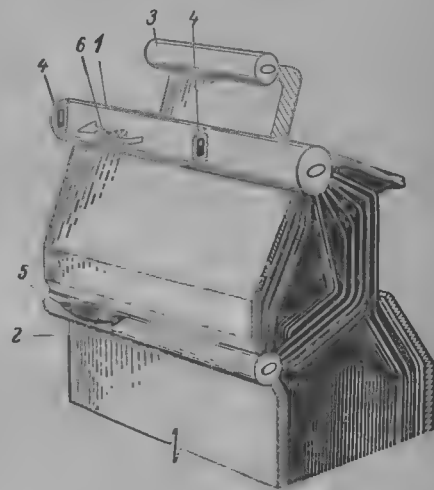
Иногда происходили аварийные повреждения обогреваемых труб из-за чрезмерного понижения уровня воды в соленом отсеке при открытии на длительное время продувки. Эти и другие неполадки и аварии в ряде случаев значительно затрудняли эксплуатацию паровых котлов.

а) В двухбарабанном паровом котле ТКЗ 120/150 т/час был выделен соленый отсек, к которому присоединили левый боковой экран и часть труб с левой стороны конвективного пучка. В нижнем барабане соленый отсек отделялся от чистого глухой перегородкой, в верхнем барабане перегородка поднималась выше уровня воды и имела отверстие для перетекания воды из чистого отсека в соленый (фиг. 7-12). Из двух водоуказательных колонок одна была присоединена к чистому, а другая к соленому отсеку.

В первые же часы после пуска котла в эксплуатацию было обнаружено недопустимое расхождение уровней воды в обоих отсеках. При нагрузке 60 т/час, т. е. около 40% максимальной, уровень в соленом отсеке уходил вниз за границу видимости в стекле, даже если в чистом отсеке уровень поддерживался выше среднего. Такое расхождение уровней делало невозможной работу котла при более высоких нагрузках.

Чрезмерное расхождение уровней в отсеках иногда объясняется малым диаметром насадки в разделительной перегородке для перетекания воды из чистого отсека в соленый, либо малым сечением отверстия для движения пара в обратном направлении. Но в рассматриваемом случае одновременно было обращено внимание на то, что разница солевого содержания в соленом и чистом отсеках была очень незначительна. При плотном остатке в соленом отсеке 2500 мг/л в чистом отсеке плотный остаток доходил до 1800 и даже 2000 мг/л. Таким образом, несмотря на большое расхождение уровней воды, ступенчатое испарение в котле практически отсутствовало.

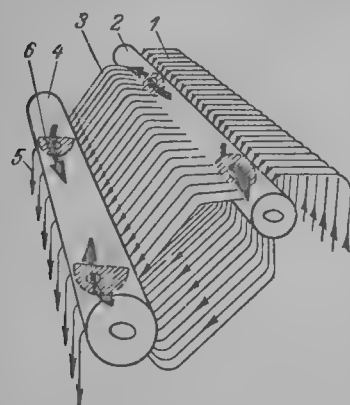
Котел немедленно был остановлен, барабаны его были вскрыты, после чего проверили плотность разделительной перегородки в нижнем барабане. Были выявлены значительные неплотности и их почти полностью ликвидировали. Когда после этого котел был снова растоплен, разность уровней в отсеках уменьшилась в несколько раз, а разница солевого содержания значительно возросла.



Фиг. 7-12. Схема котла со ступенчатым испарением, в котором наблюдалось чрезмерное расхождение уровней воды в соленом и чистом отсеках.

1 — верхний барабан; 2 — нижний барабан; 3 — сухопарник; 4 — водоуказательная колонка; 5 — неплотная разделительная перегородка в нижнем барабане; 6 — перегородка в верхнем барабане между чистым (справа) и соленым отсеками.

Можно предполагать, что в рассматриваемом случае вода в нижнем барабане перетекала из соленого отсека в чистый. Это круговое движение воды — наверху из чистого отсека в соленый, а внизу — из соленого отсека в чистый приводило, с одной стороны, к непрерывному выравниванию соледержания воды в отсеках, а с другой стороны, к тому, что через отверстие в верхнем барабане должна была проходить не только



Фиг. 7-13. Схема движения воды в неплотных разделительных перегородках верхнего барабана. В соленых отсеках (в торцах барабана) уровень выше, чем в чистом отсеке.

1 — экранные трубы; 2 — верхний барабан; 3 — перепускные трубы; 4 — основной барабан; 5 — водоопускные трубы; 6 — разделительная перегородка между отсеками.

лении через насадки в разделительных перегородках. Из-за этого уровень воды в соленых отсеках был выше, чем в чистом. При таком круговом движении воды в отсеках разница в соледержании не могла быть значительной.

Этот пример, в частности, показывает, насколько большим может оказаться влияние неплотностей выше уровня воды в барабане, через которые из одного отсека в другой перетекает не вода, а пароводяная смесь.

Уровень воды в соленом отсеке ступенчатого испарения должен быть ниже, чем в чистом отсеке. Разность уровней воды должна составлять от 30 до 100 мм при полной нагрузке котла. При снижении нагрузки разность уровней уменьшается пропорционально квадрату нагрузки и, следовательно, при нагрузке, равной 50% от полной, не должна превышать 25 мм.

та вода, которая испарялась в соленом отсеке, но и та, которая возвращалась из соленого отсека в чистый в нижнем барабане. При этом возрастала потеря напора в соединительной насадке, из-за чего увеличивалась разница уровней воды в отсеках.

б) После пуска в эксплуатацию котла высокого давления ТП-230-1 было замечено, что в соленых отсеках уровень воды держался не ниже, а выше, чем в чистом отсеке. Проверили межотсековые перегородки в большом барабане, но они были собраны правильно, хотя соледержание котловой воды в соленом отсеке было только в полтора раза больше, чем в чистом.

Причина ненормальной работы ступенчатого испарения была выявлена при вскрытии малого барабана. Оказалось, что при монтаже часть разделительных перегородок не была установлена. Через широкие отверстия большое количество воды проходило из чистого отсека в соленые (фиг. 7-13). Часть этой воды возвращалась в чистый отсек в нижнем барабане, протекая в обратном направ-

Чрезмерное расхождение уровней может быть вызвано:
а) Неправильными показаниями водоуказательных приборов.

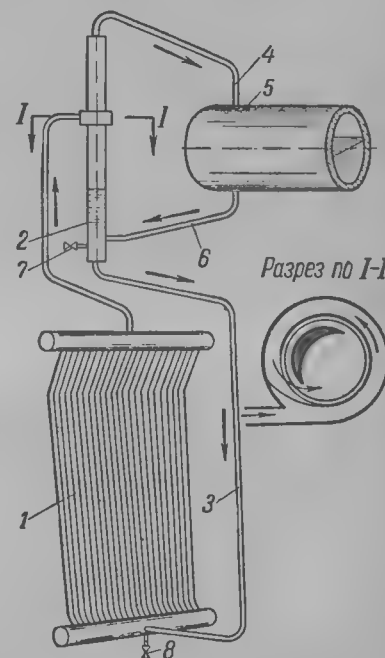
б) Вспениванием воды в соленом отсеке, из-за чего возрастает потеря напора при движении пара, несущего с собой пену, из соленого отсека в чистый.

При чрезмерном расхождении уровней необходимо сначала продуть водоуказательные приборы и убедиться в правильности их показаний. Если показания правильны, нужно принять меры к уменьшению вспенивания.

в) Если чрезмерное расхождение уровней обнаруживается непосредственно после ввода котла в эксплуатацию, оно может объясняться неправильным монтажом или ремонтом.

Ступенчатое испарение с выносными циклонами. На фиг. 7-14 показана широко внедряемая ОРГРЭС в последние годы схема ступенчатого испарения с выносными циклонами. Здесь циркулирующая в соленом отсеке вода не проходит через котельный барабан. Из экранных труб 1 пароводяной поток направляется в среднюю часть циклона 2.

При вращательном движении в этом циклоне вода отделяется от пара, стекает вниз и по трубе 3 отводится в нижний коллектор экрана 1. Пар поднимается в верхнюю часть циклона и по трубе 4 направляется в барабан котла 5. Уравнительная труба 6 служит для питания соленого отсека водой, с тем, чтобы при непрерывном испарении уровень воды в циклоне не изменялся.



Фиг. 7-14. Схема ступенчатого испарения с выносными циклонами.

1 — обогреваемые трубы экрана; 2 — выносной циклон; 3 — водоопускная труба; 4 — паропроводящая труба; 5 — барабан котла; 6 — уравнительная труба; 7 — непрерывная продувка; 8 — периодическая продувка.

Наиболее целесообразными ОРГРЭС считает циклоны диаметром 350 мм, паропроизводительностью 5 т/час. Высота циклонов рекомендуется не меньше 4 м. Высокая верхняя часть циклона нужна для надлежащего осушения пара. Большая глубина нижней части необходима для того, чтобы избежать попадания пара в опускную трубу 3 в случае, если уровень воды в циклоне примет вид глубокой воронки. Ввод в циклон пароводяной смеси из экранных труб должен быть расположен выше уровня воды в барабане.

В первых установках с выносными (сепарационными) циклонами пароотводящую трубу 4 вводили в барабан котла под уровень воды. Пар из циклонов должен был проходить через осушительные устройства чистого отсека. Проверка показала, что для выходящего из циклонов пара дополнительная очистка не требуется. В последнее время пар из циклонов отводят в паровое пространство барабана, а иногда — непосредственно в сухопарник.

Установка соленых отсеков с выносными циклонами оказалась особенно полезной при реконструкции старых котлов с барабанами малой длины и небольшой высотой парового пространства, в которых образование пены особенно опасно и ступенчатое испарение обычного типа мало эффективно. При наличии выносных циклонов пар из соленых отсеков очищается вне барабанов; количество пара, осушаемого в барабане, уменьшается.

Котел КО-III-200 производительностью 200 т/час питался водой с высоким содержанием. Потеря воды на непрерывную продувку превышала 10%. В порядке реконструкции котла было организовано двухступенчатое испарение с выделением в соленые отсеки обоих концов котельного барабана. При этом было уменьшено зеркало испарения чистого отсека, в котором возросла высота слоя пены. Продувку котла приходилось регулировать, исходя из условий работы чистого отсека, и содержание воды в соленых отсеках получалось настолько низким, что польза от установки ступенчатого испарения была невелика.

Положение изменилось, когда соленые отсеки были присоединены не к барабану котла, а к выносным циклонам. Увеличилось зеркало испарения чистого отсека, и стало возможным поддерживать в нем содержание котловой воды в несколько сот мг/л. Были созданы нормальные условия ступенчатого испарения.

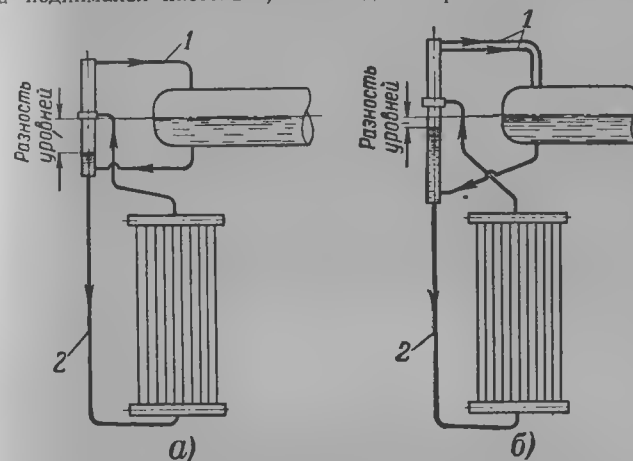
Не всегда выносные паросушительные циклоны сразу давали желательный эффект. Известны случаи, когда циклоны сначала работали неудовлетворительно.

Выносные циклоны были установлены в качестве третьей ступени ступенчатого испарения на четырехбарабанных котлах производительностью 170 т/час, 32 ат. С первого дня эксплуатации выявилось неудовлетворительное качество насыщенного пара.

Занимавшийся наладкой котлов ОРГРЭС выявил значительные неплотности в перегородках между первой и второй ступенью внутри

бара. Но совершенно недопустимое качество пара нельзя было исправить только этими неплотностями.

Подробное изучение вопроса привело к выводу, что сечение пароводящих труб 1 было слишком мало (фиг. 7-15, а). Из-за этого произошло снижение уровня воды в циклонах. Время от времени в трубе 2 подсасывался пар. Тогда движение жидкости происходило с очень большими пульсациями, уровень воды в циклонах резко колебался и иногда поднимался настолько, что вода выбрасывалась в отводящие



Фиг. 7-15. Переделка выносных паросушительных циклонов для улучшения качества пара.

а — до переделки; б — после переделки, при которой была дополнительно поставлена пароотводящая труба 1 и увеличена высота циклона; 2 — опускная труба.

трубы 1. Особо значителен был унос воды после загрузки фосфатов, когда возрастала высота слоя пены.

Длительная работа при наличии пара в опускной трубе 2 неминуемо привела бы к перегосу экранных труб. Котел немедленно был остановлен для переделки. Были уплотнены внутрибарабанные межотсекные перегородки. На каждом из циклонов дополнительно была поставлена еще одна пароотводящая труба 1. Потеря напора в отводящих трубах уменьшилась и уровень воды в циклонах повысился. Кроме того, была увеличена высота циклонов (фиг. 7-15, б). После переделки качество пара стало удовлетворительным.

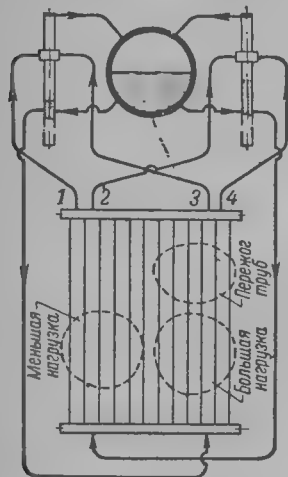
Наиболее трудно добиться хорошей работы двухступенчатого испарения с выносными циклонами в котлах большой производительности.

В этих случаях приходится к каждому из соленых отсеков присоединять по два-три циклона. Это не только загромождает верхнюю часть котла четырьмя или шестью высокими стояками большого диаметра. Если экран обогревается неравномерно, то в циклонах может появиться опасное

расхождение уровней воды. Обычно уровень держится ниже в том из циклонов, в который отводится наибольшее количество пара. Установка горизонтальных уравнильных труб, соединяющих циклоны по концам, уменьшает расхождение уровней, но не ликвидирует его.

На котле, много лет проработавшем без ступенчатого испарения, был выделен соленый отсек с выносными циклонами. Циклоны были включены по схеме, изображенной на фиг. 7-16. Неравномерный обогрев экрана по ширине привел к аварийному разрыву нескольких экранных труб.

Пароотводящие трубы 1 и 4, включенные у концов верхнего экранного коллектора, отводили в циклоны сравнительно небольшое количество пароводяной смеси.



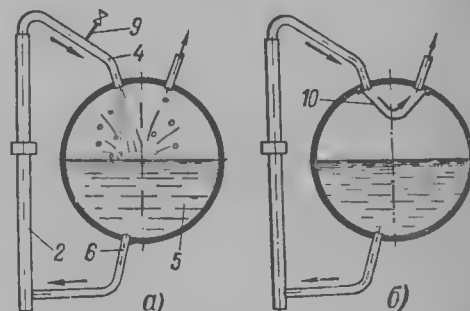
Фиг. 7-16. Схема недопустимо большого расхождения уровней воды в параллельно работающих выносных циклонах из-за неравномерного обогрева экранных труб.

В основном работали трубы 2 и 3. При этом, как показано на схеме, в одном из циклонов происходило повышение уровня воды, а в другом — его значительное понижение, приводившее к попаданию пара в водоотпускные трубы (кавитации) и к «пробковому» режиму движения жидкости в экранных трубах.

Аварии прекратились после наращивания нижней части циклонов (на фиг. 7-16 показано условным пунктиром).

Показатели работы пароосушительных циклонов могут ухудшаться иногда из-за совсем неожиданных причин. В таких случаях нельзя, конечно, делать вывод о непригодности циклонов до проведения тщательной их наладки.

На котле производительностью 150 т/час, 34 ат были установлены выносные пароосушительные циклоны, после чего качество пара ухудшилось. Была произведена всесторонняя проверка условий работы цик-



Фиг. 7-17. Ухудшение качества пара после установки выносного циклона при направлении струи пара на уровень воды в барабане.

а — до переделки; б — после переделки. Обозначения те же, что на фиг. 7-14. Кроме того, 9 — штуцер к солемеру; 10 — направляющий щиток в барабане.

лонов, в частности, солемером было проверено качество пара в отводящих трубах (труба 4 на фиг. 7-17,а).

Оказалось, что из циклонов выходил чистый пар. Загрязнение пара, следовательно, происходило не в циклонах, а внутри барабана. Повидимому, струя пара из циклонов, направленная на уровень воды в барабане, вызывала большое образование брызг.

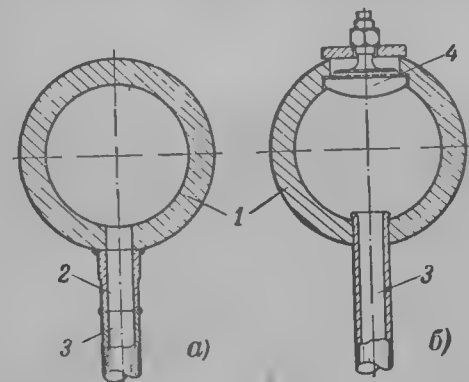
Качество пара действительно резко улучшилось после установки изображенного на фиг. 7-17,б направляющего щитка 10 внутри барабана.

ГЛАВА ВОСЬМАЯ

ПАРОПЕРЕГРЕВАТЕЛИ

8-1. КОНСТРУКЦИЯ ПАРОПЕРЕГРЕВАТЕЛЯ

Пароперегреватель котлов большой производительности состоит из длинных изогнутых труб — змеевиков, концы которых за пределами газохода присоединены к сборным камерам (коллекторам), обычно расположенным горизон-



Фиг. 8-1. Присоединение змеевика к камере пароперегревателя.

а — у котлов высокого давления; б — у котлов повышенного давления.
1 — камера пароперегревателя; 2 — приварной штуцер; 3 — змеевик; 4 — лючок для развальцовки.

тально поперек котла. В змеевики поступает насыщенный пар и нагревается в них до нужной температуры (см. фиг. 2-1, 2-2, 8-2).

У пароперегревателей котлов 35—44 ат концы змеевиков развальцовывают в стенках коллектора. Вальцевание производят через специальные круглые и овальные лючки, один или два ряда которых расположены на стороне коллектора, противоположной трубным отверстиям (фиг. 8-1,б).

У пароперегревателей котлов высокого давления змеевики присоединяют к камерам на сварке, через особые штуцеры. Доступ внутрь коллекторов этих пароперегревателей имеется только с торцов; при малом числе или даже при отсутствии разъемных соединений уменьшается опасность образования неплотности.

В пароперегревателях некоторых котлов высокого давления штуцеры не приварены, а отштампованы из тела коллектора.

Группу параллельно расположенных змеевиков называют пакетом пароперегревателя. У некоторых котлов 35 ат весь пароперегреватель состоит из одного пакета. В котлах высокого давления пароперегреватель, как правило, разделяется не менее чем на две части. В первом по ходу пара пакете, в котором пар нагревается до температуры не выше 400—420°С, устанавливают трубы из обычной углеродистой стали. Перегрев пара до конечной температуры 480—510°С осуществляется во втором пакете змеевиков, в котором устанавливают обычно трубы из хромомолибденовой стали, способной длительно работать под давлением при температуре выше 500°С. Из хромомолибденовой стали изготавливают также выходные коллекторы пароперегревателя, парозапорные задвижки и трубопроводы, отводящие пар к турбинам. Длина каждого из змеевиков пароперегревателя, состоящих из нескольких труб, соединенных встык электросваркой, составляет несколько десятков метров.

Трубы пароперегревателей котлов высокого давления, изготавливаемые из стали различных марок, берут разного диаметра во избежание случайных ошибок. Обычно змеевики из углеродистой стали делают из труб наружным диаметром 38 мм, а хромомолибденовые — наружным диаметром 42 мм. Еще более опасно по своим последствиям ошибочное изготовление из нелегированной стали сборных выходных коллекторов пароперегревателя (стр. 42).

Схемы движения пара в пароперегревателе. В котлах большой производительности пароперегреватель работает обычно в очень тяжелых условиях. Он отделен от топки лишь несколькими рядами кипящих труб и его змеевики омываются снаружи высокотемпературными дымовыми газами, имеющими температуру до 1000°С, а иногда еще больше. Изнутри змеевики омываются паром, который хуже, чем вода, отводит тепло от металла. К тому же пар в пароперегревателе имеет более высокую температуру, чем вода

кипящих и экранных трубах. Поэтому змеевики пароперегревателя в нормальных условиях эксплуатации всегда горячее, чем все остальные металлические части парового котла.

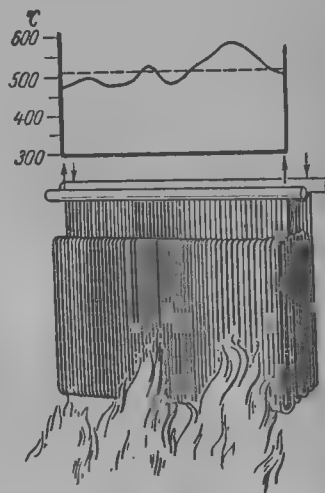
Для повышения надежности работы пароперегревателей разработаны различные схемы движения пара в них, обеспечивающие выравнивание температуры перегретого пара в отдельных змеевиках. На фиг. 8-2 схематически показано, как возникает неодинаковый обогрев змеевиков дымовыми газами. Обычно это происходит при неправильной работе топки, когда отдельные струи газов доходят до пароперегревателя с различной температурой.

В котлах большой производительности, работающих при 35—44 ат, почти одинаковый перегрев пара в различных змеевиках достигается, как правило, благодаря наличию перед пароперегревателем конвективного трубного пучка, в котором выравнивается температура отдельных струй дымовых газов.

В котлах высокого давления для выравнивания температуры пара в отдельных змеевиках применяют промежуточное перемешивание пара.

Первые котлы высокого давления имели пароперегреватели без промежуточного перемешивания пара. Сравнение их работы с котлами ТП-230-2 или ПК-10, имеющими промежуточное перемешивание пара и работающими в одинаковых условиях, показало, что промежуточное перемешивание пара позволило примерно в 4 раза уменьшить расхождение между наибольшей и наименьшей температурой пара в отдельных трубах.

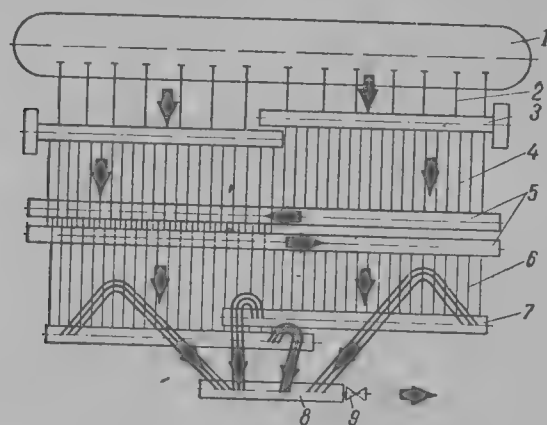
На фиг. 8-3 показана одна из схем промежуточного перемешивания. Здесь передача пара слева направо и справа налево осуществляется при движении пара вдоль двух длинных промежуточных коллекторов, в направлении, ука-



Фиг. 8-2. Различный перегрев пара в змеевиках пароперегревателя при неравномерном горении топлива в топке.

занном стрелками. Эта схема осуществляется на котлах ТКЗ с 1953 г.

Еще более тщательное перемешивание пара осуществлено в котлах высокого давления ЗИО (фиг. 8-4). Перемешивание пара производится в двух местах на его пути, кроме того, выходной пакет змеевиков имеет меньшую ширину,



Фиг. 8-3. Схема промежуточного перемешивания пара в пароперегревателе котла высокого давления ТП-230-2.

1 — барабан котла; 2 — перепускные трубы между барабаном и парохладителем; 3 — парохладитель; 4 — пакет змеевиков из углеродистой стали; 5 — промежуточные коллекторы; 6 — пакет змеевиков из легированной стали; 7 — выходной коллектор; 8 — паросборная камера; 9 — главная паропораздающая задвижка.

чем также уменьшается возможность расхождения температуры пара в отдельных змеевиках.

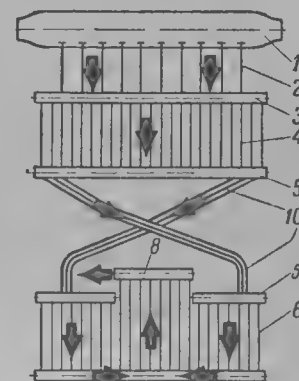
Значение промежуточного перемешивания пара весьма велико, но и при наличии промежуточного перемешивания может произойти пережог змеевиков, если топочный режим ведется неправильно и факел затягивается в пароперегреватель.

В первый период эксплуатации котла высокого давления разность температуры в отдельных змеевиках пароперегревателя превышала 100° С. Удовлетворительное распределение температуры с расхождением в 20—30° С было достигнуто только путем наладки топочного режима.

В частности, большую пользу принесло вторичное дутье через сопла в задних углах топки. Без этого вторичного дутья факел в топке с шахтными мельницами прижимался к боковым стенам. Подачей воздуха через сопла факел отжимался к центру топочной камеры. Умень-

шилась высота факела, и отдельные языки пламени перестали создавать местное повышение температуры в змеевиках пароперегревателя.

Второе мероприятие, повышающее надежность работы пароперегревателя, заключается в обеспечении одинакового расстояния между змеевиками по всей ширине газохода. Это достигается при помощи хомутов, гребенок и других укрепленных на змеевиках деталей. С течением времени крепежные детали обгорают и их необходимо заменять при ремонте котла.



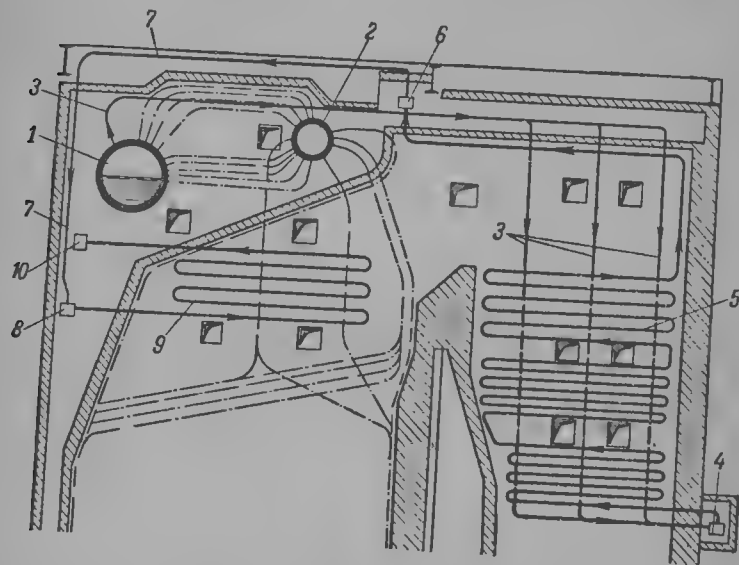
Фиг. 8-4. Схема прсмежyточного перемешивания пара в пароперегревателе котла высокого давления ПК-10. Обозначения те же, что на фиг. 8-3. Кроме того, 10 — перепускные трубы между пакетами змеевиков пароперегревателя.

Неравномерное расположение змеевиков по ширине газохода считается допустимым только тогда, когда конечная температура перегретого пара не превышает 375° С. Но и в этих случаях нужно следить за своевременной заменой перегоревших крепежных деталей. В местах, где змеевики чрезмерно сближаются, происходит быстрый запос их летучей золой. Температура пара в этих змеевиках понижается, что вызывает соответствующее повышение температуры пара в других змеевиках.

Горизонтальные пароперегреватели. Описанные выше пароперегреватели имеют вертикально расположенные змеевики, свободно висящие в газоходе. Дымовые газы проходят между змеевиками либо горизонтально, либо с небольшим уклоном к горизонту. Такие пароперегреватели применяются почти для всех котлов большой производительности, изготовленных в СССР. Но на некоторых электростанциях работают котлы с пароперегревателями, у которых змеевики

расположены горизонтально, а дымовые газы движутся вертикально или в направлении, близком к вертикальному. Таков, например, пароперегреватель, изображенный на фиг. 8-5.

Основное преимущество горизонтального пароперегревателя заключается в возможности полного удаления из него воды при остановке котла. Из вертикальных змеевиков уда-



Фиг. 8-5. Схема горизонтального пароперегревателя. Стрелки показывают направление движения пара. 1 — основной барабан котла; 2 — разделительный барабан; 3 — трубы насыщенного пара, служащие подвесками для змеевиков; 4 — входная камера пароперегревателя; 5 — первый по ходу пара пакет змеевиков пароперегревателя; 6 и 8 — промежуточные камеры; 7 — пароподводящие трубы; 9 — второй по ходу пара пакет змеевиков пароперегревателя, подвешенный к экранным трубам; 10 — камера перегретого пара.

лять воду труднее. Поэтому горизонтальные змеевики не могут быть заморожены при длительной остановке зимой крайнего котла в неутепленном котельном цехе. При горизонтальном пароперегревателе невозможно образование водяного затвора (см. стр. 189).

Эксплуатация различных котлов выявила, однако, что горизонтальные змеевики и сопряженный с ними почти горизонтальный фестон легче зашлаковываются и забиваются золой, чем вертикальные трубы. Это имеет особое значение при сжигании низкосортных местных топлив.

Ширмовые и радиационные пароперегреватели. На фиг. 8-15 схематически показан ширмовый пароперегреватель. По ширине газохода, на расстоянии от полуметра до 1 м друг от друга висят ширмы 4, состоящие из нескольких лежащих вплотную друг к другу подковообразных труб, присоединенных концами к коллекторам. Опасным местом в ширмах является горизонтальный участок в их нижней части, где обычно быстро начинается шлакование.

Радиационный пароперегреватель состоит из труб, расположенных подобно экранным трубам на стенах топочной камеры. Такой пароперегреватель работает надежно, но из-за усложнения конструкции применение его целесообразно лишь в особых случаях.

В установках с промежуточным перегревом пара, в котельном агрегате имеется вторичный пароперегреватель. В этих случаях выходящий из котла высокого давления пар при заданных давлении и температуре поступает в турбину, где расширяется до определенного давления. При этом температура его понижается. Для повышения к. п. д. турбины этот пар возвращается во вторичный пароперегреватель, расположенный в котле, где температура пара повышается до заданной величины. Вторично перегретый пар возвращается в турбину для дальнейшего расширения до конечного давления.

8-2. РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПЕРЕГРЕТОГО ПАРА

Одним из важных вопросов эксплуатации парового котла является надежное регулирование температуры перегретого пара.

Регулирование температуры пара возможно применением общецеховых (и общестанционных) мероприятий, изменением режима работы котла или посредством парохладителя.

Общецеховое регулирование температуры пара. Бóльшая часть этих мероприятий основана на том, что колебание температуры перегретого пара тесно связано с изменением давления пара в котле. Чрезмерное возрастание температуры пара наблюдается в период быстрого повышения давления, а снижение ее ниже нормы объясняется большей частью быстрым снижением давления пара. Эта закономерность имеет место на всех котлах, но особенно проявляется при эксплуатации котлов высокого давления.

Объяснить это можно следующим образом. Пусть, например, котел высокого давления работает с постоянной нагрузкой при неизменном давлении пара. При этом на испарение воды затрачивается около половины всего тепла, которое передается воде и пару от дымовых газов. Сообразно с этим рассчитаны все поверхности нагрева котла, в том числе и поверхность нагрева пароперегревателя. Если же на испарение

Если затрачивается иная часть передаваемого тепла, то температура пара соответственно изменяется.

В период быстрого повышения давления часть тепла расходуется на дополнительный подогрев котловой воды до повышающейся в это время температуры кипения. Например, при повышении давления от 80 до 100 ат температура кипения увеличивается с 295 до 310°С, из-за чего вся котловая вода нагревается дополнительно на 15°С. Совместно с водой нагреваются барабаны, трубы и коллекторы котла, а также другие его элементы. Несколько возрастает и температура обмуровки. Затрата на все это дополнительного количества тепла соответственно приводит к временному уменьшению парообразования, так как на испарение воды расходуется меньшая доля передаваемого тепла. Возникает некоторое несоответствие между количеством дымовых газов, омывающих змеевики пароперегревателя, и количеством пара, который нагревается в этих змеевиках. Каждому килограмму пара передается больше тепла, чем при работе котла с постоянным давлением, а потому каждый килограмм пара нагревается в пароперегревателе до более высокой температуры. Чем быстрее повышается давление, тем в большей степени происходит перераспределение тепла. Таким образом, возрастание температуры перегретого пара тем больше, чем резче повышается давление.

Таким же способом можно объяснить и влияние резкого снижения давления пара в котле.

В котельном цехе должен быть разработан порядок изменения нагрузки отдельных котлов при различных изменениях суммарной нагрузки (см. § 240 Правил технической эксплуатации). Если машинист котла знает, когда и в каких пределах нужно изменять паропроизводительность каждого отдельного котла, то при изменении нагрузки котельного цеха давление пара изменяется сравнительно мало.

Важно отметить, что колебание температуры пара возрастает, если котлы работают с малой нагрузкой.

Пусть, например, на дополнительный подогрев воды и самого котла при резком повышении давления пара затрачивается столько тепла, что паросъем уменьшается на 10 т/час. Это кратковременное снижение паропроизводительности ощущается мало, если котел работает с номинальной нагрузкой 120 т/час. Но при нагрузке котла 40 т/час такое же снижение паросъема сказывается значительно больше.

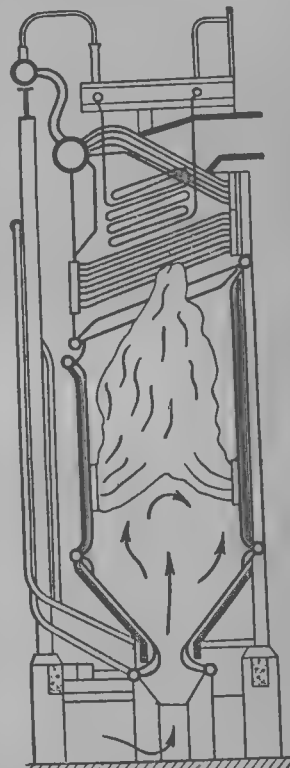
Регулирование температуры пара изменением режима работы котла. В эксплуатации распространен прием регулирования температуры перегретого пара путем изменения разрежения в топочной камере. Если температура перегретого пара недостаточна, машинист «подтягивает» факел вверх, т. е., не изменяя работы дутьевых вентиляторов, несколько больше нагружает дымососы и соответственно увеличивает разрежение в топке. При чрезмерно высокой температуре перегретого пара машинист уменьшает нагрузку дымососов, временно допуская даже положительное давле-

ние дымовых газов в верхней части котла и выбивание газов наружу через неплотности.

Действие такого способа регулирования показано схематически на фиг. 8-6. Если топочная камера уплотнена так, что присос в нее наружного воздуха практически отсутствует, то изменение в ней разрежения не отражается на форме факела. Но при неплотной топке положение изменяется. Чем больше разрежение в топке, тем больше возрастает присос в нее холодного воздуха из помещения котельной. Особенно много наружного воздуха входит обычно в нижнюю часть топочной камеры, где разрежение наибольшее и где почти всегда имеются неплотности в местах прохода нижних концов экранных труб через обмуровку. Чем больше засасывается в топку наружного воздуха, тем больше оттесняется вверх ядро факела; соответственно смещается верхняя граница горения и увеличивается температура газов, омывающих пароперегреватель. Возрастает и температура пара.

Регулировать температуру перегретого пара изменением разрежения в топочной камере можно быстро и четко. В этом основное достоинство такого способа регулирования. Но нетрудно видеть и его недостатки. При увеличении разрежения в топке и чрезмерном поднятии факела возрастает шлакование и увеличивается потеря от недожога топлива. Уменьшение разрежения в топке сопровождается выбиванием газов наружу в верхней части котла и ускоренным разрушением обмуровки. Регулировать температуру пара рассматриваемым способом допустимо лишь кратковременно, как вынужденное решение, в момент быстрого изменения режима работы котла.

Иногда применяют другой метод режимного регулиро-



Фиг. 8-6. Подъем пылеугольного факела с целью увеличения температуры перегретого пара. Стрелками показан присос холодного воздуха в нижнюю часть топки.

вания. Известно, что температура перегретого пара повышается с увеличением избытка воздуха в омывающих пароперегревателе дымовых газах. Например, повышение коэффициента избытка воздуха с 1,20 до 1,35 приводит к возрастанию температуры пара приблизительно на 15°C .

При таком регулировании изменяют нагрузку не только дымососов, но и дутьевых вентиляторов. Регулирование действует четко и быстро, но также должно рассматриваться лишь как кратковременное вынужденное мероприятие. Длительная работа котла при слишком большом или чрезмерно малом избытке воздуха не допускается.

Влияние шлакования. При росте шлаковых отложений в топочной камере и в конвективном трубном пучке соответственно уменьшается количество тепла, поглощаемого этими поверхностями нагрева. В результате этого повышаются температура дымовых газов перед пароперегревателем и температура перегретого пара. Это приводит иногда к необходимости принимать меры к снижению температуры пара даже при полностью включенном пароохладителе путем уменьшения избытка воздуха в дымовых газах, допуская временно работу котла с повышением потери от химического недожога топлива. В этих случаях необходимо по возможности скорее остановить котел для расшлаковки, а в дальнейшем принять меры к уменьшению шлакования.

Весьма опасно шлакование и самого пароперегревателя. Зашлакованные змеевики препятствуют движению дымовых газов, которые с более высокой скоростью омывают незашлакованные трубы. Это приводит к увеличению неравномерности перегрева пара в различных змеевиках по ширине пароперегревателя; в отдельных змеевиках пар нагревается гораздо выше допустимого предела.

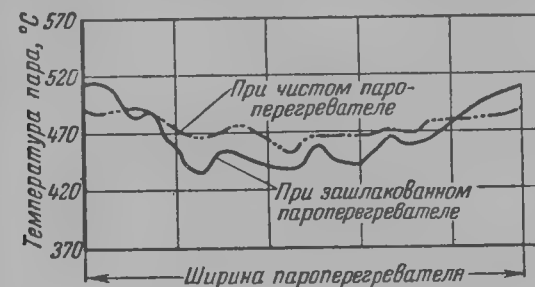
Котел паропроизводительностью 70 т/час на 120 ат работал на фрезерном торфе с сильным шлакованием пароперегревателя. Расхождение температуры пара в отдельных змеевиках достигало 70°C .

После применения ручной воздушной обдувки средняя температура пара немного возросла, но неравномерность по отдельным змеевикам значительно уменьшилась (пунктирная кривая на фиг. 8-7).

Во избежание длительной работы с недопустимо высокой температурой пара согласно § 202 ПТЭ у котлов высокого давления нужно проверять температуру пара на каждом метре ширины пароперегревателя. При шлаковании необходимо организовать систематическую обдувку первых по ходу

газов петель змеевиков, т. е. регулярную очистку зоны начального шлакообразования.

Котлы ТП-170-1 работали со средней нагрузкой 120—140 т/час. Отложения золы в пароперегревателе не было. Средняя нагрузка котлов была увеличена до 160—170 т/час, после чего появились большие



Фиг. 8-7. Изменение температуры пара по ширине горизонтального пароперегревателя.

отложения золы между вертикальными змеевиками, в основном в первой по ходу газов части пароперегревателя; котлы приходилось каждые 15—20 дней останавливать для очистки.

Отложение золы началось с шлакования нижней части фестона (фиг. 8-8), что способствовало наращиванию слоя летучей золы в нижней части газохода.

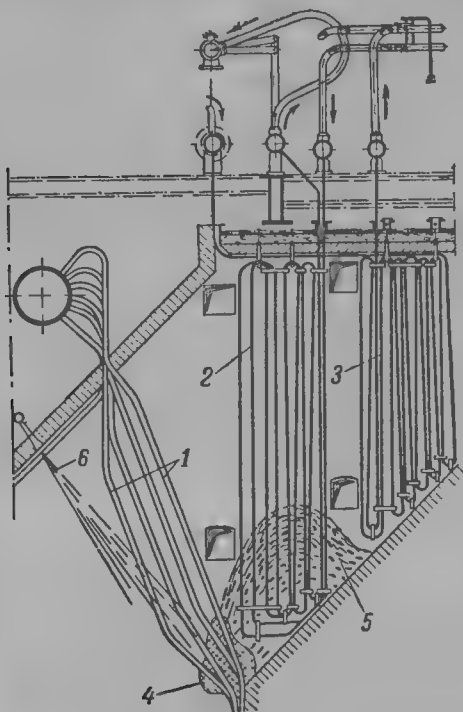
Отложение золы в пароперегревателе было почти ликвидировано после организации регулярной обдувки и наладки топочного режима котлов, что привело к снижению температуры дымовых газов перед фестоном.

Неравномерность перегрева пара при малой нагрузке котла. Неравномерность температуры перегретого пара в различных змеевиках особенно возрастает при малой нагрузке котла, когда часть горелок не работает и факел не заполняет топочной камеры. Если котел несет малую нагрузку, нужно особо тщательно проверять температуру пара по ширине пароперегревателя и при необходимости — переключать горелки и изменять подачу воздуха с тем, чтобы избежать чрезмерного местного повышения температуры перегретого пара.

На фиг. 8-9 показано изменение температуры пара по отдельным змеевикам пароперегревателя котла ТП-170-1 с тремя шахтными мельницами у фронтальной стены толки. Остановка одной или двух мельниц немедленно приводила к значительному снижению температуры пара в змеевиках, расположенных над этими мельницами; в остальных змеевиках пароперегревателя температура пара чрезмерно возрастала.

Наиболее опасным является режим работы, изображенный на графике б фиг. 8-9, когда в отдельных змеевиках температура пара составляла 560°C , т. е. на 50°C превышала расчетную температуру (510°C).

При дальнейшем снижении нагрузки (график а) неравномерность обогрева также была велика, но при средней температуре пара 460°C наибольшее значение температуры перегретого пара в отдельных змеевиках было равно только 525°C .



Фиг. 8-8. Отложение летучей золы в пароперегревателе котла высокого давления.

1 — фестон; 2 — часть пароперегревателя, выполненная из легированной стали; 3 — часть пароперегревателя, выполненная из углеродистой стали; 4 — отложение шлака в фестоне; 5 — отложение золы в пароперегревателе; 6 — обдувка фестона пароводяной смесью.

Длительное изменение температуры перегретого пара. Наиболее часто длительное изменение температуры перегретого пара происходит по следующим причинам:

1. Изменение нагрузки котла. Как правило, перегрев пара возрастает с повышением нагрузки котла и уменьшается при ее снижении.

2. Изменение температуры питательной воды. С понижением температуры питательной воды на 10°C перегрев пара возрастает примерно на 5°C .

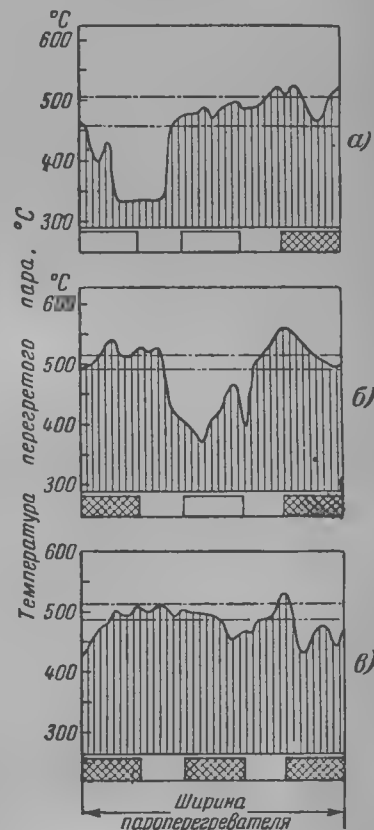
Пусть, например, котел рассчитан на питание водой с температурой 150°C . Если в него подавать воду 100°C , то в котле эта вода должна дополнительно подогреться со 100 до 150°C , для чего требуется дополнительный расход топлива. При этом пароперегреватель обогревается увеличенным количеством дымовых газов и перегрев пара соответственно возрастает.

3. Изменение влажности топлива. При снижении влажности топлива температура перегретого пара снижается, с повышением влажности — повышается.

Эта зависимость объясняется тем, что при палиции большого объема водяных паров соответственно возрастает скорость дымовых газов, омывающих пароперегреватель, что приводит к увеличению передачи тепла от газов к поверхности нагрева. Кроме того, нагретые до высокой температуры водяные пары активно излучают тепло на трубы пароперегревателя.

4. Температура перегретого пара зависит не только от влажности топлива, но и от других его свойств.

Так, например, если котел, работающий на тощем угле, перевести на сжигание антрацита, то температура перегретого пара возрастает, хотя оба топлива имеют почти одинаковую влажность. Это объясняется сравнительно большей прозрачностью факела, получающегося при сжигании антрацита из-за чего уменьшается излучение на экраны и возрастает температура дымовых газов, выходящих из топki в пароперегреватель. В наибольших пределах изменяется температура перегретого пара у котлов, работающих на слургических заводах, где по-



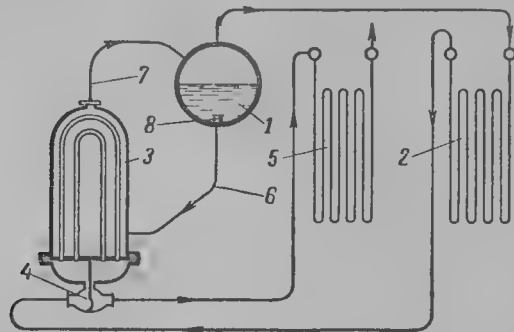
Фиг. 8-9. Температура пара в отдельных змеевиках пароперегревателя.

Прямоугольники внизу каждого графика условно обозначают расположение трех шахтных мельниц у фронтальной стены топki. Затемненные прямоугольники соответствуют работающим мельницам.

а — нагрузка котла 50 т/час , работает только правая из трех мельниц; б — нагрузка котла 70 т/час , работают две крайние мельницы; в — нагрузка котла 125 т/час — в работе все три мельницы.

переменно приходится сжигать твердое топливо и доменный газ; при переходе на газообразное топливо перегрев пара возрастает настолько, что нагрузку котлов иногда приходится ограничивать.

Регулирование температуры пара пароохладителями. Современные котлы большой производительности обычно рассчитывают таким образом, что при нормальных условиях эксплуатации пароохладитель включен и снижает температуру перегретого пара на 10—15° С. Это позволяет при необ-



Фиг. 8-10. Схема поверхностного пароохладителя с охлаждением пара котловой водой.

1 — барабан котла; 2 — первая по ходу пара часть напорного перегревателя; 3 — корпус пароохладителя; 4 — клапан, регулирующий поступление пара в пароохладитель; 5 — вторая часть напорного перегревателя; 6 — линия подачи котловой воды из барабана; 7 — линия отвода в барабан пароводяной смеси; 8 — насадка в барабане.

ходимости изменять температуру перегретого пара. Пароохладители котлов большой производительности выполняют поверхностного типа и впрыскивающие.

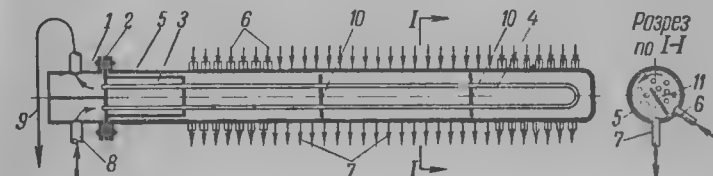
Конструкция пароохладителей поверхностного типа. Наибольшее распространение для котлов большой производительности получили поверхностные пароохладители. В первых их конструкциях охлаждался выходящий из котла перегретый пар; в современных установках эти пароохладители включают на стороне насыщенного пара, т. е. между барабаном котла и пароперегревателем, либо в рассечке пароперегревателя, т. е. между первым и вторым по ходу пара пакетами змеевиков.

Поверхностные пароохладители выполняют с охлаждением пара котловой или питательной водой.

На фиг. 8-10 показана одна из схем включения пароохладителя, работающего на котловой воде. Пароохладитель представляет собой сосуд 3 большого диаметра, в ниж-

нюю часть которого подается пар после выхода его из первой части пароперегревателя 2. В пароохладитель 3 самотеком по трубам 6 поступает вода из барабана котла 1. Пар проходит через подковообразные трубы внутри корпуса пароохладителя (на схеме для ясности показаны только две трубы).

Котловая вода заполняет пространство между трубами и испаряется. Образующаяся пароводяная смесь возвращается в барабан по трубам 7. Таким образом, охлаждаю-



Фиг. 8-11. Схема поверхностного пароохладителя с охлаждением пара питательной водой.

1 — головка пароохладителя; 2 — трубная доска; 3 — изолирующая рубашка; 4 — водяной змеевик; 5 — коллектор; 6 — трубы, подводящие пар к пароохладителю; 7 — трубы, отводящие пар; 8 — труба, подводящая питательную воду; 9 — труба, отводящая питательную воду; 10 — распорный диск, препятствующий провисанию змеевиков; 11 — продольная перегородка, улучшающая омывание змеевиков паром.

щая вода свободно циркулирует по контуру 1-6-3-7-1. Циркуляция обеспечивается тем, что корпус 3 расположен ниже уровня воды в барабане 1.

Доступ пара в пароохладитель регулируется клапаном 4. Охлажденный пар возвращается в паропровод и направляется во вторую часть пароперегревателя 5. Регулирование температуры перегретого пара производится путем изменения подачи пара в пароохладитель 3. При выключении пароохладителя испарение в нем воды прекращается.

Конструкция выносных пароохладителей, работающих на котловой воде, весьма разнообразна. Имеются пароохладители, в которых количество проходящего через них пара не изменяется, а регулирование температуры производится изменением высоты уровня котловой воды в корпусе пароохладителя посредством регулирующего вентиля. Отдельные неполадки этих пароохладителей устранялись при освоении и наладке котлов.

На фиг. 8-11 показана схема весьма распространенного пароохладителя, в котором охлаждение пара производится питательной водой.

Горизонтальный коллектор 5 установлен на месте коллектора пароперегревателя. К нему присоединены концы змеевиков 6 и 7, через которые в коллектор подается и отводится пар.

Внутри коллектора 5 по всей его длине расположены другие змеевики 4, через которые проходит часть питательной воды. Таким образом, охлаждающая вода движется вдоль коллектора пароохладителя, а пар движется поперек его.

Подвод и отвод охлаждающей воды осуществлены через торцевую камеру пароохладителя 1, разделенную на две части. По длине змеевиков установлено несколько распорных дисков 10, препятствующих провисанию змеевиков. Продольная перегородка 11 улучшает омывание паром змеевиков 4 (см. разрез I-I на фиг. 8-11).

Пароохладители рассматриваемого типа устанавливаются либо на стороне насыщенного пара, либо в рассечке пароперегревателя. В первом случае часть пара в пароохладителе превращается в воду с тем, чтобы снова испариться при нагревании пара. При расположении пароохладителя в рассечке пароперегревателя обеспечиваются более благоприятные условия для регулирования температуры пара.

Глубина регулирования. Глубиной регулирования пароохладителя называется максимальное производимое им снижение температуры перегретого пара. Глубина регулирования возрастает с увеличением разности между температурой охлаждаемого пара и температурой охлаждающей воды.

Сравним условия работы пароохладителя, установленного на стороне насыщенного пара, и пароохладителя в рассечке пароперегревателя. Сравнение проведем для котла 110 ат, у которого температура питательной воды равна 215° С, а температура насыщенного пара — около 315° С. В первом случае происходит превращение в воду насыщенного пара за счет разницы температуры около 100° С. Во втором случае через пароохладитель проходит пар с температурой около 400° С, и охлаждение пара питательной водой совершается за счет разницы температуры порядка $400 - 215 = 185^\circ \text{С}$. Следовательно, пароохладитель, установленный в рассечке пароперегревателя, работает при большей разнице температуры воды и пара. Он имеет большую глубину регулирования, т. е. может охлаждать пар до более низкой температуры.

Пароохладитель, расположенный в рассечке пароперегревателя, обычно может охлаждать пар на 50—55° С. У пароохладителя, расположенного на стороне насыщенного пара, глубина регулирования, как правило, не превышает 30—40° С.

Пусть в рассмотренном примере у пароохладителя, расположенного на стороне насыщенного пара, по какой-либо причине температура пи-

тательной воды снизилась с 215 до 120° С. Разность температуры пара и воды возрастет от 100° С до $315 - 120 = 195^\circ \text{С}$, т. е. увеличится почти в 2 раза. Соответственно возрастает и глубина регулирования пароохладителя.

Выше указывалось, что при временном понижении температуры питательной воды происходит повышение температуры перегретого пара. Большим преимуществом всех пароохладителей, работающих на питательной воде, является увеличение глубины регулирования при снижении температуры воды.

Измерения ЦКТИ на котле ТП-230-1 показали, что снижение температуры питательной воды с 200 до 100° С влекло за собой увеличение глубины регулирования с 40 до 75° С. Количество воды, проходившей через пароохладитель, в обоих случаях было одинаково и составляло 50% общей подачи воды в котел.

Регулирование температуры перегретого пара в пароохладителе поверхностного типа путем изменения количества охлаждающей питательной воды имеет следующие особенности.

1. Всякий раз, когда машинист котла изменяет подачу к пароохладителю питательной воды, изменится общее количество воды, подаваемой в котел. Поэтому машинист котла, приступая к регулированию температуры перегретого пара, должен всегда предупреждать водосмотра об ожидаемом изменении питания.

2. Если поверхностный пароохладитель включен в рассечку пароперегревателя, то полное закрытие его водяных вентилей может привести к закипанию воды в змеевиках.

У пароохладителя, включенного на стороне насыщенного пара, вода в змеевиках может закипеть только в исключительных случаях при резком падении давления в питательной линии.

3. Если пароохладитель работает на питательной воде, то через него должно проходить не более 40% воды, поступающей в водяной экономайзер. Иногда приходится работать, пропуская через пароохладитель большее количество питательной воды и даже подавая через него всю питательную воду. Но в этих условиях затрудняется регулирование питания, а при ручном управлении усложняются условия труда водосмотра.

Запасывание действия пароохладителя. При эксплуатации большинства поверхностных и некоторых впрыскивающих (см. стр. 186) пароохладителей приходится учиты-

вать запаздывание регулирования. Если, например, температура перегретого пара чрезмерно возросла, то машинист котла увеличивает подачу воды к пароохладителю. Но перегрев пара уменьшается не сразу, а в течение 1—2, иногда даже 3 мин. Это происходит потому, что при уменьшении температуры пара должна соответственно понизиться температура металла части пароперегревателя, находящейся по пути пара за пароохладителем. Чем больше вес этого металла, тем медленнее происходит изменение конечной температуры перегретого пара. Особенно велико запаздывание действия пароохладителей, установленных на стороне насыщенного пара.

Запаздывание действия пароохладителя иногда значительно затрудняет эксплуатацию котла.

Например, если перегрев пара у котла выравнивается через 3 мин. после изменения подачи воды в пароохладитель, то в течение этих 3 мин. паропроизводительность котла может снова измениться, что потребует нового изменения работы пароохладителя. В таких условиях температура перегретого пара может длительное время не соответствовать требуемому значению.

Запаздывание действия пароохладителя усложняет автоматическое регулирование температуры перегретого пара. При ручном регулировании от машиниста котла требуется учет всех условий работы котла. Он должен знать, сколько примерно воды должно идти на пароохладитель при всех возможных режимах эксплуатации.

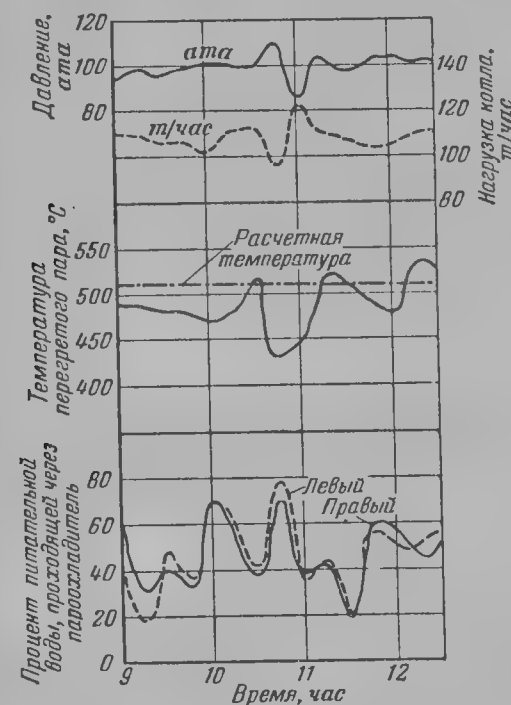
Совершенно недопустимо включение в работу пароохладителя без водомеров на линии подачи к нему воды, а при конструкции, изображенной на фиг. 8-10, без знания количества частично отводимого к нему пара.

На фиг. 8-12 показаны результаты контрольной проверки такого регулирования «вслепую» на котле ТП-170-1. Нагрузка единственного на электростанции котла высокого давления изменялась сравнительно мало, но из-за бессистемного регулирования пароохладителя происходили совершенно недопустимые колебания температуры перегретого пара.

При регулировании температуры перегретого пара следует учитывать, что ее изменение на котле лишь через 2—5 мин. вызывает соответственное изменение температуры пара перед турбиной. Иногда, например, температура перегретого пара на котле возрастает до недопустимого значения, но через 1—2 мин. уменьшается до нормального. При этом температура пара перед турбиной возрастает гораздо

меньше, чем за котлом. Часть тепла при кратковременном повышении температуры пара затрачивается на дополнительный нагрев паропровода.

Иногда по каким-либо причинам температура перегретого пара сохраняется повышенной в течение 5—10 мин., а затем восстанавливается нормальное положение. Через



Фиг. 8-12. Характеристика неправильного регулирования работы пароохладителя.

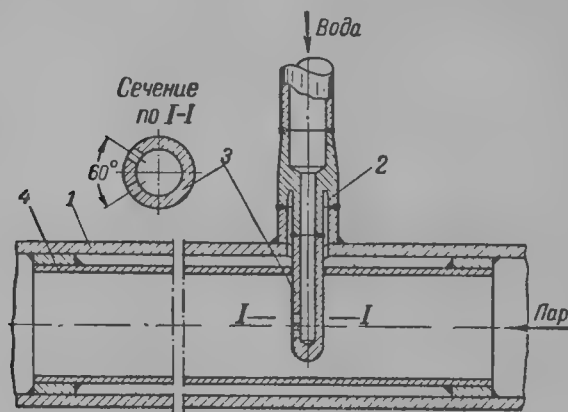
При сравнительно небольшом колебании нагрузки происходили значительные изменения температуры перегретого пара. Это объясняется отсутствием водомеров на линиях подачи воды к пароохладителю.

2—3 мин. после этого может быть получено сообщение машиниста турбины о том, что по его приборам температура пара продолжает оставаться недопустимой. Опытный машинист котла знает, что это происходит вследствие тепловой инерции паропроводов, и будет выжидать, пока температура пара перед турбиной выравняется без его вмешательства. Неопытный же работник начинает опять регули-

ровать температуру, в результате чего снова разлагается работа котла.

Впрыскивающий пароохладитель. На фиг. 8-13 изображена одна из простейших конструкций впрыскивающего пароохладителя. Вода поступает в прямолинейный участок паропровода 1, расположенный в расщепке пароперегревателя.

В разбрызгивающей насадке 3 имеется несколько отвер-



Фиг. 8-13. Впрыскивающий пароохладитель.
1 — паропровод; 2 — присоединительный штуцер;
3 — разбрызгивающая насадка; 4 — защитная труба.

стий, через которые вода входит в паропровод в том же направлении, как и пар. Рубашка 4 защищает стенки паропровода от попадания на них относительно холодной воды; после нескольких лет работы на рубашке 4 появляются трещины и ее необходимо заменять.

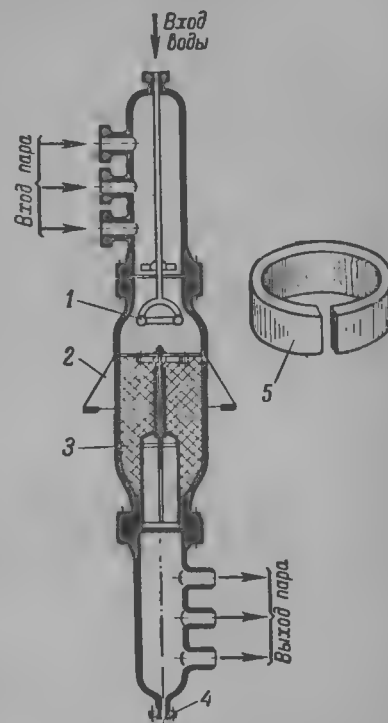
Длина прямолинейного участка и находящейся в нем рубашки должна быть достаточной для полного испарения впрыснутой воды.

Практика эксплуатации показала, что впрыскивающий пароохладитель имеет крупное преимущество по сравнению с поверхностным. Глубина регулирования у него практически не ограничена; известны случаи, когда через впрыскивающий пароохладитель проходило до 20% питательной воды.

Однако при всех преимуществах впрыскивающий пароохладитель получил пока сравнительно малое распространение. Это объясняется тем, что впрыскивать в пар можно

только очень чистую воду — конденсат. Даже небольшое содержание солей в впрыскиваемой воде приводит к отложению этих солей в змеевиках пароперегревателя и к их пережогу. При недостаточной плотности трубных досок конденсатора паровой турбины происходит просачивание в конденсат небольшого количества охлаждающей воды. При появлении неплотности в одном из конденсаторов нужно немедленно выключить все впрыскивающие пароохладители.

На фиг. 8-14 изображена конструкция впрыскивающего пароохладителя, у которого вносимые с водой соли выпадают при прохождении пара через специальную набивку 3 из небольших стальных колец 5. Такие пароохладители много лет работают вполне надежно на котлах высокого давления 220 т/час. Однако при этом пароохладителе, имеющем высокий стальной корпус с фланцами большого диаметра, возрастает запаздывание регулирования температуры пара. У некоторых котлов имеется возможность частичного регулирования температуры пара поворотными горелками.



Фиг. 8-14. Пароохладитель впрыскивающего типа.

1 — разбрызгивающее кольцо; 2 — опорная лапа; 3 — набивка из колец; 4 — дренаж; 5 — кольцо для набивки (показано в увеличенном виде).

8-3. РАБОТА ПАРОПЕРЕГРЕВАТЕЛЯ ПРИ РАСТОПКЕ КОТЛА

Охлаждение пароперегревателя при растопке котла производится паром. За немногими исключениями используется пар, образующийся в самом растапливаемом котле. Такое охлаждение, как показал опыт, достаточно даже для радиационного пароперегревателя, расположенного на стенах топочной камеры.

При освоении некоторых котлов высокого давления име-

ли место случаи чрезмерного повышения при растопке температуры перегретого пара. Характер этого повышения перегрева был различен.

На двухбарабанных котлах 64 ат, 500° С, работавших на АЩ, температура перегретого пара во время растопки составляла 540—570° С. Это объяснялось главным образом тем, что при растопке котлов не работали парохладители, которые в нормальных условиях значительно снижали температуру перегретого пара. Часть поверхности нагрева пароперегревателя была вырезана; этим были разгружены парохладители. Перегрев пара при растопке уменьшился.

На других электростанциях возрастание температуры перегретого пара происходило кратковременно, в течение 5—15 мин., затем температура пара снова понижалась. Но и это было, конечно, недопустимо.

Можно было ожидать, что после некоторого числа растопок змеевики пароперегревателя преждевременно выйдут из строя. В то же время на других паровых котлах высокого давления растопка протекала вполне нормально, без какого-либо превышения температуры перегретого пара по сравнению с расчетной.

Такое кратковременное повышение температуры пара при растопке происходило по тем же причинам, как и при повышении давления под нагрузкой (стр. 173). В период, когда давление в котле увеличивается, имеется значительный расход пара через продувочные вентили. У котлов высокого давления через продувку удаляют иногда десятки тонн пара в час. При этом, как и при работе котла под нагрузкой, часть тепла топлива затрачивается на временный подогрев воды и самого котла до возрастающей температуры кипения. Испарение уменьшается, и каждый килограмм пара нагревается в пароперегревателе до более высокой температуры.

Рекомендуются следующие два режима растопки котла высокого давления без увеличения температуры перегретого пара.

1. Повышать давление пара при очень малом открытии продувочных вентилей пароперегревателя. Тогда весь подъем давления протекает при практически ничтожной паропроизводительности котла. Дымовые газы охлаждаются еще в топке и имеют в газоходе пароперегревателя температуру, близкую к 500° С, а иногда еще ниже. При низкой температуре дымовых газов перегрев пара не может стать чрезмерным при любых обстоятельствах, в том числе и при быстром повышении давления.

2. Повышать давление пара под нагрузкой, но очень медленно. Тогда температура перегретого пара увеличивается по сравнению с нормальной на ничтожную величину.

Этот режим растопки получил распространение на электростанциях, на которых, кроме котлов высокого давления, работают котлы 35—44 ат и где пар растапливаемого котла может быть использован через редукционную установку.

Оба режима растопки требуют от машиниста котла большого внимания. При первом режиме наиболее опасным является период подъема нагрузки. Давление пара при этом не должно изменяться. При втором режиме следует избегать резкого увеличения подачи топлива, так как это приводит к быстрому повышению давления под нагрузкой и соответственному росту температуры перегретого пара.

Паровой котел высокого давления типа ТП-230-1 временно работал на редукционно-увлажнительную установку. После включения котла в магистраль, когда увеличивалась его нагрузка, наблюдалось значительное, хотя и кратковременное, возрастание температуры перегретого пара.

При работе котла на редуктор машинист котла не был связан необходимостью поддерживать постоянным давление пара и точно регулировать работу топки согласно с увеличением нагрузки. Измерения показали, что после включения котла происходило сначала снижение давления пара, а затем быстрое его повышение. Температура перегретого пара возрастала в период быстрого повышения давления пара под нагрузкой.

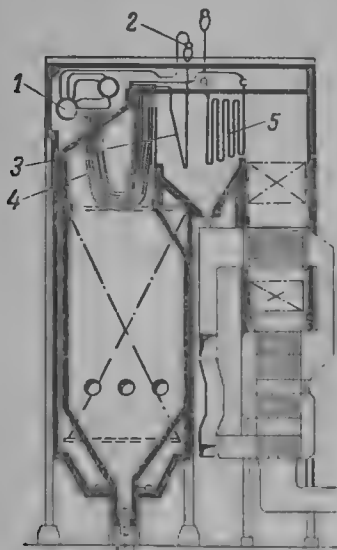
8-4. ВОЗНИКНОВЕНИЕ ВОДЯНОГО ЗАТВОРА В ТРУБАХ ПАРОПЕРЕГРЕВАТЕЛЯ

На фиг. 8-15 показан котел производительностью 145 т/час, 120 ат, 500° С, работающий на АЩ. Пар из барабана 1 проходит через поверхностный парохладитель 2, включенный на стороне насыщенного пара. Из парохладителя пар движется по конвективной петле 3. Трубы петли без промежуточного коллектора переходят в трубы ширмового перегревателя 4. На котле имеется восемь ширм. Пар сначала проходит по четным ширмам, затем по перепускным трубам переходит в нечетные ширмы, а из них направляется в конвективный пароперегреватель 5.

Нижние, горизонтальные участки труб ширм 4 быстро подшлаковывались, но расстояние между ширмами достаточно велико и шлаковых мостиков между ширмами не появлялось. Возникавший небольшой слой шлака не увеличивался и не препятствовал работе котла, хотя температура дымовых газов, омывающих ширмы, превышала 1300° С.

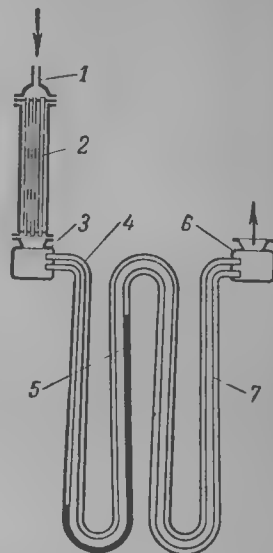
В первый период эксплуатации котла произошло три разрыва и пять раздутый труб ширмового пароперегревателя. Повреждения, как правило, происходили в период растопки, в момент перевода котла на лыль. По характеру это были пережоги труб с увеличением диаметра на 1,5—2,5 мм, при остро оттянутых кромках в месте разрыва.

Пережог труб происходил из-за образования водяного затвора в некоторых трубах предвключенной петли 3. Первоначально вода накапливалась в этой петле при остановке котла, а затем пополнялась при работе пароохладителя. В этих трубах прекращалось движение пара. Металл труб перегревался не в предвключенной петле, а в ее продол-



Фиг. 8-15. Котел 145 m^3/h , 120 ат, 500° С с ширмовым пароперегревателем.

1 — барабан котла; 2 — пароохладитель; 3 — предвключенная петля; 4 — ширмовый пароперегреватель; 5 — конвективный пароперегреватель.



Фиг. 8-16. Схема образования водяного затвора в змеевике пароперегревателя.

1 — вход пара; 2 — поверхностный пароохладитель; 3 — входной коллектор; 4 — змеевик; 5 — водяной затвор; 6 — выходной коллектор; 7 — место пережога змеевика (в зоне наиболее высокой температуры дымовых газов).

жении в ширмовом пароперегревателе, где обогрев был более высокий и где воды не было.

Наиболее опасной была работа при высоком давлении и малой нагрузке котла, когда пар двигался с малой скоростью и не мог пробить водяных пробок, образовавшихся в змеевиках.

Для предотвращения пережога труб были приняты следующие меры:

1. Перевод котла на пыль стали производить при пониженном давлении 60—80 ат, при котором пар двигался в трубах с более высокой скоростью и легче пробивал водяной затвор.

2. Было вырезано 50% труб предвключенной петли 3 и следующих за ней труб ширмового пароперегревателя. Скорость пара возросла вдвое, что также благоприятствовало более легкому выдуванию водяного затвора.

Образование водяного затвора наблюдалось также на котлах ТКЗ-120/150, которым длительное время приходилось работать с нагруз-

кой 20—30% номинальной. Через неплотности в трубных досках пароохладителя вода попадала в насыщенный пар и поступала во включенные ниже змеевики пароперегревателя (фиг. 8-16). При малой нагрузке и малой скорости пара образовывался водяной затвор, приводивший к пережогу труб.

Пережог труб прекратился после отключения пароохладителей от питательной магистрали.

ГЛАВА ДЕВЯТАЯ

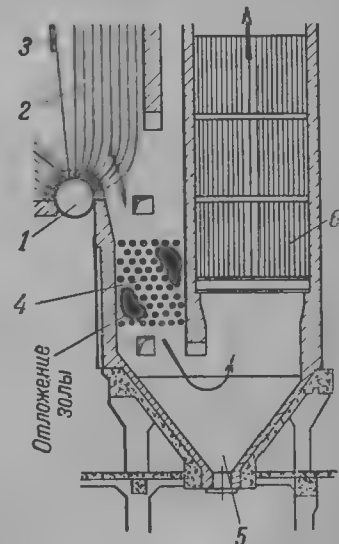
ВОДЯНЫЕ ЭКОНОМАЙЗЕРЫ, ВОЗДУХОПОДОГРЕВАТЕЛИ И ЗОЛОУЛАВЛИВАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА

В подавляющем большинстве паровых котлов большой производительности, изготовляемых в СССР, дымовые газы движутся через водяной экономайзер и воздухоподогреватель сверху вниз (фиг. 9-7). В этом случае частицы золы проходят через газоходы с более высокой скоростью, чем газы. При движении дымовых газов снизу вверх (фиг. 9-1) зола движется медленнее газов и легче отлагается на трубах.

Применяют две основные схемы взаимного расположения водяного экономайзера и воздухоподогревателя:

1. Последовательное их размещение, когда первым по пути дымовых газов находится экономайзер, а за ним — воздухоподогреватель (фиг. 9-1).

2. Двухъярусное расположение, при котором дымовые газы сначала проходят через верхний экономайзер и верхний воздухоподогреватель, а затем через нижний экономайзер и нижний воздухоподогреватель (фиг. 2-1).



Фиг. 9-1. Последовательное расположение водяного экономайзера и воздухоподогревателя. Стрелками показано направление движения дымовых газов. 1 — нижний барабан котла; 2 — конвективный трубный пучок; 3 — газовая перегородка; 4 — водяной экономайзер (зачернена зона отложения золы); 5 — золовый бункер; 6 — пластинчатый воздухоподогреватель.

Двухъярусное расположение водяного экономайзера и воздухоподогревателя несколько усложняет конструкцию котла. Появляются длинные перепускные воздушные коробки, увеличивается число проходов через обмуровку змеевиков экономайзера, возрастает присос наружного воздуха в газоходы. Однако такое расположение поверхностей нагрева применяют весьма часто, потому что при такой схеме возможно повысить температуру подогрева воздуха и этим значительно улучшить условия подсушки топлива и его зажигания.

9-1. ВОДЯНЫЕ ЭКОНОМАЙЗЕРЫ

Наибольшее распространение в котлах большой производительности получили стальные змеевиковые экономайзеры кипящего типа.

В экономайзерах кипящего типа кипение воды не является обязательным. Экономайзер называется кипящим, если испарение в нем части воды может быть допущено без ущерба для работы котла. Обычно испаряется не более 20—25% всего количества воды. В экономайзерах некипящего типа закипание воды недопустимо и может привести к образованию паровых пробок.

Основными элементами стального змеевикового водяного экономайзера являются:

1. Верхние, нижние, а в некоторых конструкциях и промежуточные камеры, в которые закрепляют концы труб змеевиков. У котлов повышенного давления концы труб развальцовывают, а у котлов высокого давления приваривают к штуцерам камер. Трубы большого диаметра, по которым вода подается в экономайзер и отводится из него, присоединяют обычно к камерам посредством сварки.

2. Змеевики, составляющие поверхность нагрева экономайзера.

В экономайзере кипящего типа не должно быть участков с движением воды вниз во избежание образования в этих участках паровых пробок. Поэтому каждая петля змеевика экономайзера занимает несколько больше места, чем у пароперегревателя.

Змеевики обычно устанавливают в шахматном порядке. По высоте экономайзер делится на отдельные пакеты, между которыми имеются проемы. Такое разделение экономайзера на несколько частей облегчает его очистку от золы и производство ремонтных работ. Кроме того, в проемах меж-

ду пакетами происходит выравнивание газового потока и разделенный на пакеты экономайзер более полно оmyвается дымовыми газами.

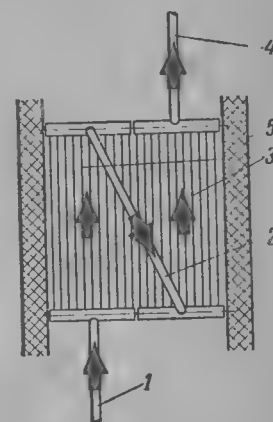
Скорость входа воды в змеевики экономайзера при полной нагрузке котла принимают не менее 0,5 м/сек. У современных котлов большой производительности скорость входа воды в экономайзер обычно превышает минимальное значение и доходит примерно до 1 м/сек. Если скорость воды очень мала, то вода распределяется по змеевикам неравномерно, вследствие чего в отдельных трубах могут возникнуть паровые пробки. Поэтому в котлах с широкими газоходами иногда устанавливают экономайзеры с двукратным движением воды по высоте газохода (фиг. 9-2).

Крепление змеевиков обычно состоит из горизонтальных опорных балок 1, установленных на этих балках вертикальных опорных стоек 2 и подвесок (фиг. 9-3). Конструкция крепежных устройств различна у отдельных типов котлов.

Опорные балки обычно охлаждаются изнутри воздухом. Концы балок открыты, и нагретый воздух свободно выходит из балок.

Почти у всех экономайзеров кипящего типа имеется линия рециркуляции воды, соединяющая входную (нижнюю) камеру экономайзера с барабаном котла. Если барабан котла разделен на отсеки ступенчатого испарения, то линию рециркуляции включают в чистый отсек. На линии рециркуляции обычно устанавливают запорный вентиль.

При растопке котельного агрегата питательные магистрали отключены. Лишь изредка, обычно только в моменты продувки экранов, производится кратковременная подпитка котла. В змеевиках экономайзера может начаться кипение воды, возможен даже ее перегрев. В отдельных змеевиках образуются паровые пробки. Во избежание этих нарушений нужно открывать линию рециркуляции всегда, когда при наличии горения в топке не производится пода-

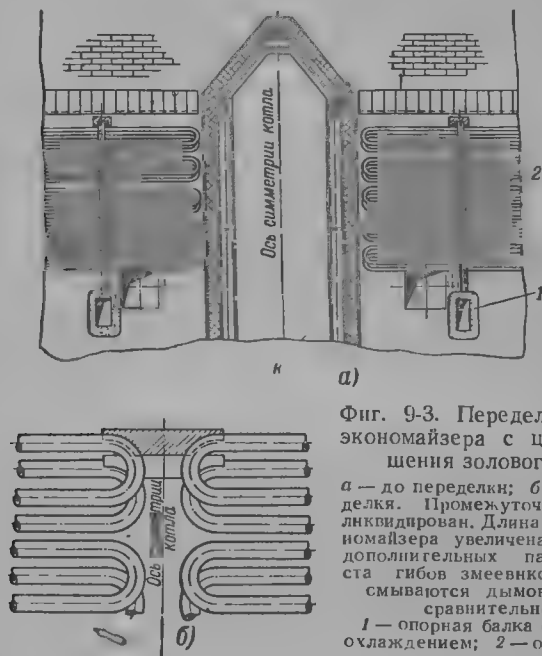


Фиг. 9-2. Схема двукратного прохождения воды через змеевики экономайзера.

1 — вход воды; 2 — перепускная наружная труба; 3 — змеевики; 4 — выход воды; 5 — обмуровка.

ча в котел питательной воды. Тогда вода из барабана по линии рециркуляции поступает в экономайзер, в котором начинается медленное движение воды, что препятствует ее значительному испарению.

Если не закрывать линию рециркуляции на работающем котле, то часть воды пойдет в барабан не по змеевику экономайзера, а по более короткому пути, по линии рециркуляции. Условия работы экономайзера при этом ухудша-



Фиг. 9-3. Переделка водяного экономайзера с целью уменьшения золотого износа.

а — до переделки; б — после переделки. Промежуточный проем К ликвидирован. Длина змеевиков экономайзера увеличена путем сварки дополнительных патрубков. Места гибов змеевников закрыты и смываются дымовыми газами сравнительно мало.
1 — опорная балка с воздушным охлаждением; 2 — опорная стойка.

ются. Открытие и закрытие вентиля на линии рециркуляции нужно производить немедленно после начала и прекращения питания котла.

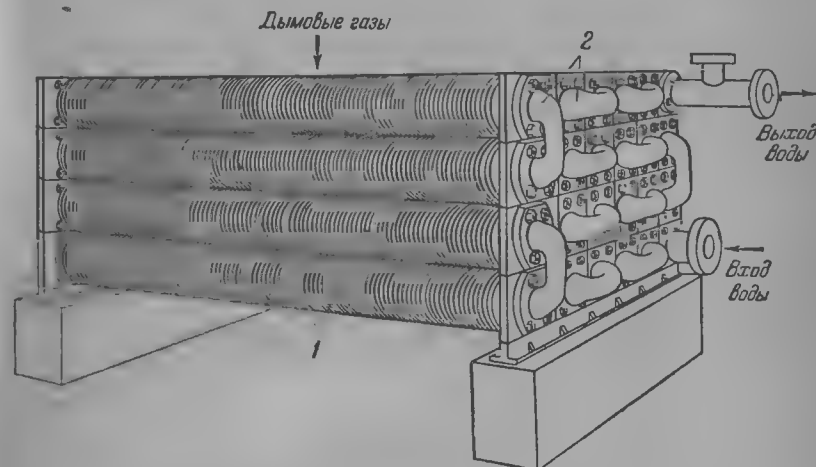
Установка на рециркуляционной линии автоматически действующего обратного клапана вместо запорного вентиля нежелательна. Обратный клапан может не открыться под действием очень слабого напора циркулирующей в экономайзере воды.

На фиг. 9-4 изображена одна из распространенных конструкций чугунного экономайзера. Его трубы

снабжены ребрами для улучшения передачи тепла воде от газов.

Вода проходит последовательно через все трубы пакета, перетекая из одной трубы в другую через горизонтальные и вертикальные калачи.

Главным преимуществом чугунного экономайзера является его нечувствительность к содержанию в воде кислорода. Кроме того, при ремонте калачи могут сниматься и прямые трубы сравнительно просто очищаются от шлама. Но испарение воды в чугунном экономайзере не может быть допущено; присос в его газоход наружного воздуха



Фиг. 9-4. Чугунный ребристый экономайзер.
1 — ребристые трубы; 2 — соединительные калачи.

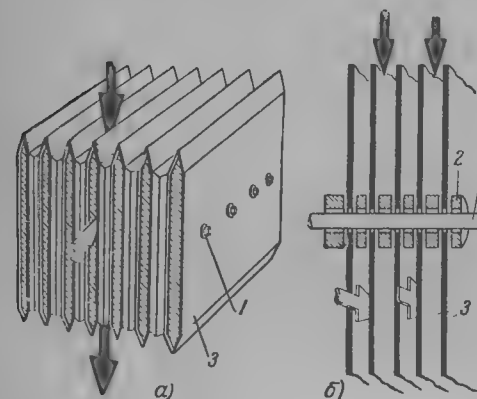
получается обычно гораздо больше, чем у стального змеевикового экономайзера. Чугунные ребристые водяные экономайзеры с устройствами для обдувки их воздухом или перегретым паром изготавливает Куоннский завод Министерства тяжелого машиностроения.

При растопке котла, когда подача питательной воды почти не требуется, вода в чугунном экономайзере может закипеть. Поэтому растопку производят при отключении экономайзера по газам. Кроме того, устанавливают так называемую сгонную линию, по которой вода из экономайзера может отводиться в бак питательной воды. При открытии этой линии охлаждение водой экономайзера продолжается и при растопке котла.

9-2. ВОЗДУХОПОДОГРЕВАТЕЛИ

Воздухоподогреватели котлов большой производительности имеются трех основных типов:

1. Пластиначные воздухоподогреватели, состоящие из большого числа вертикальных стальных пластин. Между пластинами создаются расположенные попеременно горизонтальные щели для воздуха и вертикальные щели для дымовых газов (фиг. 9-5). Такие воздухоподогреватели изготовлялись в СССР котлостроительными заводами до Отечественной войны.



Фиг. 9-5. Схема пластинчатого воздухоподогревателя.

Черные стрелки показывают направление движения дымовых газов; белые стрелки указывают направление движения воздуха.
а — вид группы пластин; б — деталь крепления стяжных болтов.

1 — стяжной болт; 2 — шайба; 3 — пластина куба.

2. Трубчатые воздухоподогреватели, состоящие из горизонтальных трубных досок с отверстиями, в которые вставлены и приварены вертикальные трубы. Внутри труб движутся дымовые газы, между трубами в горизонтальном направлении проходит воздух (фиг. 9-6). Союзные котлостроительные заводы преимущественно изготовляют трубчатые воздухоподогреватели, менее металлоемкие и более

дешевые в изготовлении. Ими заменяют также изношенные пластинчатые воздухоподогреватели котлов довоенного производства.

3. Чугунные воздухоподогреватели, обычно состоящие из овальных чугунных труб, лежащих горизонтально. Дымовые газы проходят между трубами, воздух — внутри труб. Иногда эти трубы имеют вертикальные ребра, увеличивающие поверхность соприкосновения с дымовыми газами.

Такие воздухоподогреватели в СССР для котлов большой производительности еще не получили широкого применения.

Изготовление пластинчатых воздухоподогревателей было прекращено из-за следующих недостатков:

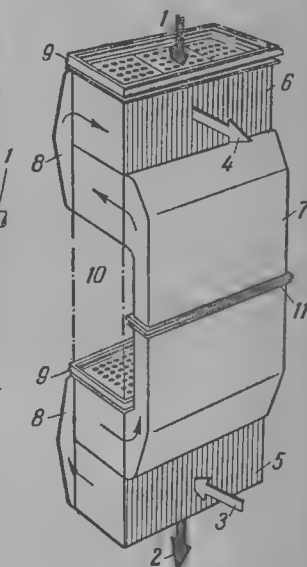
1. Несколько больший вес 1 м^2 поверхности нагрева по сравнению с трубчатыми воздухоподогревателями. Пластины изготовляются из листовой стали толщиной 2 мм, трубы имеют толщину стенок 1,5 мм.

2. Дымовые газы внутри воздухоподогревателя находятся под разрежением, а нагреваемый воздух движется под более высоким давлением. Поэтому пластины испытывают давление со стороны воздушных каналов и после нескольких лет работы выпучиваются. Уменьшение вследствие этого ширины газовых щелей увеличивает сопротивление потока дымовых газов, что влечет за собой перегрузку дымососов. Наиболее узкие щели забиваются летучей золой, что также ухудшает условия работы воздухоподогревателя.

3. Для уменьшения прогиба пластин приходится устанавливать стяжные болты с шайбами, изображенные на фиг. 9-5, для чего приходится сверлить отверстия в пластинах. Через эти отверстия часть воздуха перетекает в газовые каналы, а поэтому плотность пластинчатых воздухоподогревателей меньше, чем трубчатых.

Как трубчатые, так и пластинчатые воздухоподогреватели собирают из отдельных секций или кубов, внутри которых происходит передача тепла от дымовых газов воздуху. Обычно устанавливают по ширине несколько секций; на них ставят второй ряд секций, а иногда — третий и четвертый ряды. Из одних секций в другие воздух переходит по перепускным коробам (фиг. 9-6), в которых для более равномерного его движения устанавливают направляющие лопатки.

Расширение воздухоподогревателя при нагревании его во время растопки котла воспринимается обычно линзовым



Фиг. 9-6. Схема трубчатого двухступенчатого воздухоподогревателя.

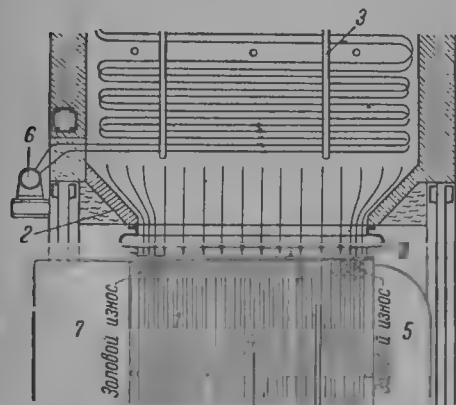
1 — вход газов; 2 — выход газов; 3 — вход воздуха; 4 — выход воздуха; 5 — нижние секции (кубы) воздухоподогревателя; 6 — верхние секции; 7 и 8 — перепускные коробки для воздуха; 9 — наружный компенсатор; 10 — место установки водяного экономайзера; 11 — компенсатор на перепускном коробе.

компенсатором 8 (фиг. 9-7), который внизу приваривают к воздухоподогревателю, а сверху — к обшивочной раме. При работе котла компенсатор находится в сжатом состоянии.

В секциях трубчатых воздухоподогревателей, имеющих высоту менее 3 м, верхнюю трубную доску плотно приваривают к боковым стенам. Но в секциях большей высоты такое присоединение недопустимо. Боковые стены воздухоподогревателя омываются только воздухом и имеют более низкую температуру, чем трубы, внутри которых движутся дымовые газы. Трубы удлиняются при нагревании больше, а потому возможен либо изгиб трубных досок, либо отрыв от них труб в месте сварки. У секций большой высоты, кроме наружного линзового компенсатора, имеется поэтому второй — внутренний компенсатор, воспринимающий удлинение и сжатие труб относительно боковых стен, устанавливаемый между ними и верхней трубной доской (фиг. 9-8).

Существуют конструкции воздухоподогревателей, в которых между секциями нет разделительных боковых стен. Утечка воздуха в пространстве между соседними секциями предотвращается наличием у крайних труб специальных наварных полос (фиг. 9-9). Перепускные коробки для воздуха обычно не имеют компенсаторов в месте присоединения к секциям. Но в середине длинных коробов компенсаторы устанавливают.

Большей частью трубчатые воздухоподогреватели изготовляют из труб наружным диаметром 51 мм. В последние годы стали применять трубы наружным диаметром 40 мм,

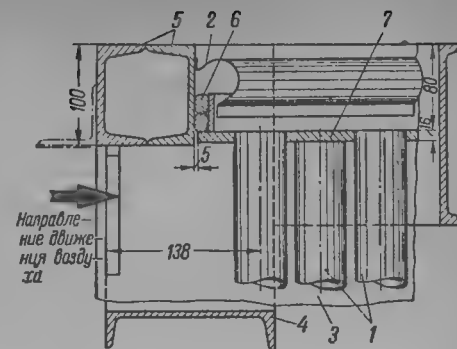


Фиг. 9-7. Сопряжение змеевикового экономайзера и трубчатого воздухоподогревателя. Под наклонными стенами происходит сильный золовый износ труб воздухоподогревателя.

1 — воздухоподогреватель; 2 — наклонная стена; 3 — подвесная стойка экономайзера; 4 — стяжной болт воздухоподогревателя; 5 — перепускной короб для воздуха; 6 — нижняя камера экономайзера; 7 — выходной воздушный короб; 8 — линзовый компенсатор.

Фиг. 9-8. Разрез верхней части куба трубчатого воздухоподогревателя высотой 5 м.

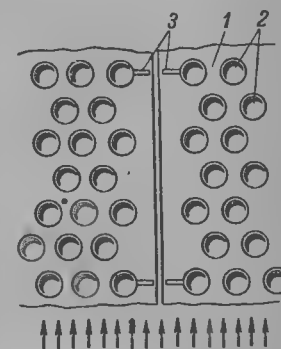
1 — трубы; 2 — внутренний компенсатор; 3 — лист наружной обшивки; 4 — швеллеры наружной обшивки; 5 — швеллеры для присоединения воздухопровода или переходного короба; 6 — асбестовый шнур; 7 — верхняя трубная доска.



при которых воздухоподогреватель имеет меньшие наружные размеры. Толщина стенок труб обычно равна 1,5 мм. Столь тонкостенные трубы нельзя вальцевать; их приваривают к трубным доскам. У всех воздухоподогревателей трубы расположены в шахматном порядке (фиг. 9-9).

На фиг. 10-1 показан трубопровод рециркуляции воздуха в воздухоподогревателе. Часть горячего воздуха, после воздухоподогревателя, обычно не свыше 10%, возвращается к дутьевому вентилятору для подмешивания к холодному воздуху. Это делается для того, чтобы предотвратить выпадение влаги из дымовых газов при соприкосновении их с холодными трубами (или пластинами), при поступлении воздуха из вентилятора, так как выпадающая влага приводит к ржавлению (коррозии) поверхности нагрева воздухоподогревателя. Чем больше влажность топлива, тем выше должна быть температура воздуха при входе в поверхность нагрева, поэтому рециркуляция наиболее нужна при сжигании бурых углей и торфа.

На наименее нагретых поверхностях нагрева выпадает больше влаги (росы). Поэтому для многих топлив требуется рециркуляция воздуха в воздухоподогревателе при малой нагрузке котла. Рециркуляцию воздуха нужно включать (либо увеличивать)



Фиг. 9-9. Сопряжение двух секций трубчатого воздухоподогревателя.

Вид сверху.
1 — трубная доска; 2 — трубы; 3 — наварные полосы. Стрелки показывают направление движения воздуха.

при снижении нагрузки котла, а также в периоды снижения температуры наружного воздуха.

Особенно высокий начальный подогрев воздуха требуется при сжигании жидких и газообразных топлив, в состав которых входит сера. Даже максимальная рециркуляция воздуха в этих случаях не всегда предохраняет нижние концы труб воздухоподогревателя от быстрого фазьедания. Наличие серы в твердом топливе менее опасно, поскольку летучей золой непрерывно сбиваются отложения, образующиеся на трубах. Иногда в воздуховодах до воздухоподогревателя устанавливают теплообменники, обогреваемые паром.

Одним из преимуществ чугунного воздухоподогревателя является его устойчивость против коррозии, возникающей от выпадения росы. Поэтому в ряде случаев целесообразно нижние секции воздухоподогревателя делать чугунными.

9-3. НЕПОЛАДКИ В РАБОТЕ ВОДЯНЫХ ЭКОНОМАЙЗЕРОВ И ВОЗДУХОПОДОГРЕВАТЕЛЕЙ

К числу наиболее часто встречающихся неполадок в работе водяных экономайзеров и воздухоподогревателей можно отнести следующие.

Присос наружного воздуха. Присос в экономайзер наружного воздуха приводит к перегрузке дымососа и к снижению температуры дымовых газов. В котлах с кирпичной обмуровкой (фиг. 11-4) присос может происходить через трещины и щели в кирпичной кладке, которую нужно периодически осматривать и уплотнять. У котлов с облегченной обмуровкой основное количество воздуха засасывается в газоход экономайзера в местах, где через обмуровку проходят змеевики.

Обшивочные листы должны быть приварены к раме по всей линии соприкосновения. Недопустимы даже небольшие неплотности, через которые незначительный вначале присос наружного воздуха постепенно разрушает обмуровку. Уплотнение камер экономайзера проще, чем экранных камер, поскольку при растопке и остановке котла камеры экономайзера не перемещаются в вертикальном направлении. Происходят лишь небольшое удлинение камер и смещение крайних змеевиков в сторону до 6—8 мм. Однако присос наружного воздуха весьма значителен даже через небольшие неплотности, поскольку газоход экономайзера находится под большим разрежением.

Проверку величины присоса наружного воздуха производят посредством газового анализа. Если, например, среднее по нескольким измерениям содержание углекислоты в дымовых газах до экономайзера равно 12,6%, а за экономайзером — 11,4%, то присос наружного воздуха составляет

$$\frac{12,6}{11,4} - 1 = 0,10.$$
 Согласно § 236 ПТЭ присос в каждую ступень водяного экономайзера не должен превышать 0,02 теоретического количества воздуха. Следовательно, в рассматриваемом примере экономайзер нуждается в дополнительном уплотнении.

Повреждение змеевиков экономайзера. Повреждение змеевиков экономайзера возможно по различным причинам — из-за разъедания их кислородом, не удаленным из питательной воды, из-за дефектов металла, из-за некачественной сварки труб и т. д.

Работу экономайзера нужно проверять ежемесячно. Первым признаком повреждения змеевиков является характерный шум в газоходе от струи выходящей воды. При любом повреждении экономайзера нужно остановить котел в кратчайший возможный срок. Задержка остановки котла может привести к тому, что струей воды, вытекающей через поврежденный змеевик, будут перерезаны соседние трубы, которые в свою очередь будут являться источником повреждения других труб и т. д.

При освоении первых котлов высокого давления имели место многочисленные случаи образования свищей в сварных стыках, причем повреждению подвергались как стыки, сваренные на заводе контактным способом, так и монтажные стыки, сваренные вручную на необогреваемых участках труб.

Образование свищей в заводских сварных стыках водяных экономайзеров резко сократилось после проведения котлостроительными заводами ряда мероприятий по совершенствованию технологии электросварки.

Занос поверхностей нагрева летучей золой. Забивание летучей золой поверхности нагрева экономайзера и воздухоподогревателя чаще всего вызывается описанным выше вытеканием воды из поврежденных змеевиков. Мокрая зола оседает в газоходе в виде плотной массы, которая в дальнейшем способствует росту отложений. При остановке котла и устранении пропуска воды необходимо одновременно про-

верить отсутствие отложения летучей золы и, если нужно, очистить забитые золой трубы.

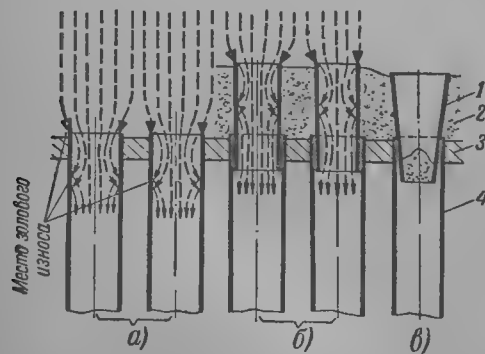
Через занесенные золой трубы трубчатого воздухоподогревателя не проходят дымовые газы, но снаружи эти трубы продолжают омываться воздухом. Нагреваясь до меньшей температуры, они меньше удлиняются от нагревания, чем остальные трубы, и отрываются от трубных досок в месте сварки. Проверая состояние воздухоподогревателя, можно убедиться, что разрыв сварных швов происходит преимущественно у труб, забитых летучей золой.

Известен случай, когда отрыв от трубной доски труб верхних секций воздухоподогревателя был вызван отложением большого количества летучей золы не в самом воздухоподогревателе, а в расположенном выше него водяном экономайзере. Дымовые газы мало охлаждались в экономайзере и выходили из него с температурой более 600°C , т. е. примерно на 100°C выше расчетного значения. Соответственно возрос подогрев горячего воздуха, доходивший вместо 400°C до $460-470^{\circ}\text{C}$. В этих условиях верхняя трубная доска коробилась и часть труб от нее отрывалась.

Повреждения прекратились, когда котел стали периодически останавливать для своевременной очистки водяного экономайзера от летучей золы.

Верхнюю трубную доску воздухоподогревателя покрыли изолирующей массой аналогично показанному на фиг. 9-10.

Отложение летучей золы может происходить и по другим причинам, например при установке над трубами воздухоподогревателя неправильно изготовленных суживающихся насадков (фиг. 9-10, в), при попадании в газовый поток посторонних предметов, над которыми нарастает слой золы, и т. п.

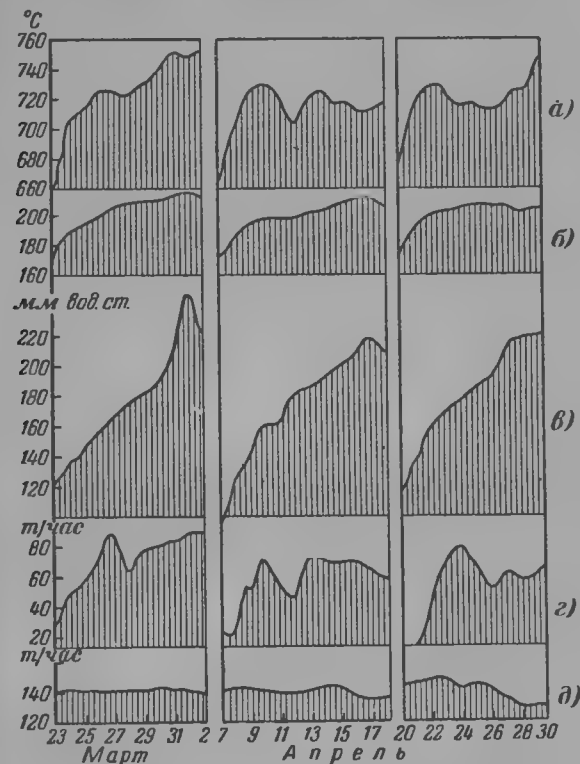


Фиг. 9-10. Схемы золотого износа трубчатого воздухоподогревателя.

Пунктирными линиями показан путь золы и место ее удара в стенки труб.
а — золотой износ труб без предохранительных насадков; б — золотому износу подвержены насадки, трубы же остаются невредимыми; в — забивание золой неправильно выполненной конической насадки.

1 — насадка; 2 — изоляция; 3 — трубная доска; 4 — труба.

Особо сильно заносятся летучей золой экономайзеры котлов, работающих на антраците (фиг. 9-1), что, повидимому, может быть объяснено очень тонким помолом, изменяемым при размоле АШ (6—8% остатка на сите 88).



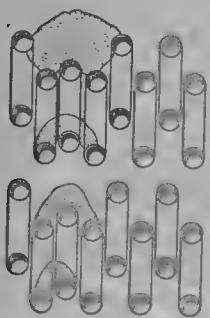
Фиг. 9-11. Изменение показателей работы котла при мере забивания летучей золой его поверхностей нагрева.

а — температура дымовых газов за пароперегревателем; б — температура уходящих газов; в — разрежение за воздухоподогревателем; г — количество питательной воды, проходящей через парохладитель; д — нагрузка котла

На фиг. 9-11 изображено изменение показателей работы котла производительностью 170 т/час , работавшего на антраците с весьма удовлетворительным выжигом топлива — содержание горючих в уносе составляло 12—15%. Через каждые 10 дней котел нужно было останавливать для очистки от золы пароперегревателя и, в основном, экономайзера. К концу 10-дневного периода температура уходящих газов возрастала примерно на 40°C , что влекло за собой снижение к. п. д. котла на 2%. Газовое сопротивление котла увеличивалось почти вдвое, из-за чего

соответственно возрастал расход электроэнергии на собственные нужды котельного цеха.

Забивание газоходов золой резко уменьшилось, когда после наладки топочного режима стало возможным работать при более грубом помоле, характеризуемом 9—12% остатка на сите 88.



Фиг. 9-12. Начальная стадия заноса золой водяного экономайзера вследствие опускания одного из змеевиков при обрыве крепящей подвески.

Предотвращение образования отложений золы в газоходах достигается следующими мероприятиями:

1. Необходимо правильно и надежно укреплять змеевики, чтобы избежать их слишком близкого расположения друг к другу. Зола отлагается прежде всего там, где змеевики соприкасаются или находятся на очень малом расстоянии друг от друга (фиг. 9-12).

2. При наличии обдувочных устройств следует регулярно, не реже 1 раза в смену, обдувать поверхность нагрева. Правильно организованная обдувка может значительно удлинить срок работы котла без забивания золой его газоходов.

3. Нельзя оставлять в газоходах посторонние предметы, которые могут стать очагом отложения летучей золы. Так, например, труба воздухоподогревателя полностью забивается золой, если внутри трубы застревает кусок кирпича.

Золовой износ. Истирание наружной поверхности змеевиков вызывается ударами твердых частиц летучей золы, летящей в газоходах вместе с дымовыми газами. При длительном истирании происходит постепенное утонение стенок труб, а затем разрыв их под действием внутреннего давления. Наиболее сильное истирание происходит у котлов, работающих на низкосортных топливах с высокой зольностью, например на подмосковном и других бурых углях и на сланцах. Скорость истирания труб в большой мере определяется скоростью дымовых газов. Увеличение скорости газов вдвое приводит к возрастанию золового износа примерно в 8 раз.

Изношенная поверхность на ощупь обычно кажется гладкой, под микроскопом же имеет шероховатый вид, однако без царапин. На глаз шероховатость труб видна только при неоднородности металла. Металлический блеск не всегда может характеризовать степень износа.

Наибольший золовой износ наблюдается у тех поверхностей нагрева, которые омываются газами, движущимися сверху вниз. В таком потоке частицы золы движутся быстрее газов.

Борьба с золовым износом труб ведется применением режимных и конструктивных мероприятий.

К режимным мероприятиям относятся следующие:

1. По возможности не допускать эксплуатации котлов с нагрузкой выше расчетной. Нагрузку нужно ограничивать дополнительно, если скорость газов в экономайзере и воздухоподогревателе превышает расчетные значения. Максимальную паропроизводительность котла нужно ограничивать в периоды питания его водой пониженной температуры.

2. Не допускать в газоходах больших газовых перекосов, особенно при полной нагрузке котла. Нужно следить за тем, чтобы разрежение за воздухоподогревателем с обеих сторон котла было примерно одинаковым. Иногда для этого нужно обеспечить равномерное распределение нагрузки между обоими дымососами или между обоими дутьевыми вентиляторами.

3. Регулярно и тщательно очищать от золы газоходы котла (чем одновременно повышается его экономичность), так как, например, забивание золой экономайзера увеличивает золовой износ его змеевиков и, кроме того, повышает золовой износ труб воздухоподогревателя. Это происходит потому, что дымовые газы, огибая занесенные золой участки, движутся с повышенной скоростью и их неравномерное движение частично сохраняется в последующих газоходах.

4. Включать горелки по возможности симметрично слева и справа при работе котла с неполным количеством горелок.

5. Ликвидировать неплотности и присос наружного воздуха в котле и пылеприготовлении, чтобы снизить скорость газов в газоходах. Это мероприятие также способствует повышению экономичности работы котла.

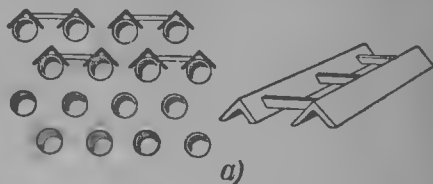
6. Тщательно проверять чистоту газоходов, так как повышенный золовой износ может быть вызван наличием на трубах посторонних предметов (например, оставшихся после ремонта кирпичей, досок и пр.). Усиленное истирание труб наблюдается по контуру этих предметов, где дымовые газы движутся с повышенной скоростью (фиг. 9-13).

К конструктивным мероприятиям относятся следующие:

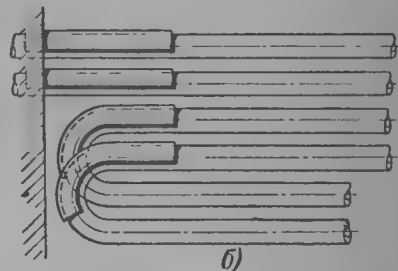
1. Увеличение сечения газоходов для снижения скорости дымовых газов.

Котлы КО-III-200 производительностью 200 т/час в течение нескольких лет работали с нагрузкой порядка 160 т/час. Золового износа экономайзеров не наблюдалось. Аварийные повреждения змеевиков начались через несколько месяцев после того, как котлы перевели на работу с нагрузкой 200—210 т/час.

Для уменьшения износа змеевиков была удалена разделительная перегородка между правой и левой частями водяного экономайзера и увеличена длина змеевиков (фиг. 9-3). После этого золовой износ резко уменьшился.



Фиг. 9-13. Усиленный износ змеевика водяного экономайзера в гнбе и по контуру лежащего по-стороннего предмета. Направление движения дымовых газов показано стрелками.



Фиг. 9-14. Защитные устройства, предохраняющие от золового износа трубы экономайзера.

а — защитные устройства на прямом участке змеевиков; б — защитные устройства у стены газохода.

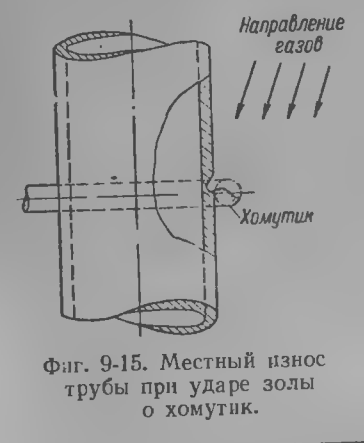
2. Установка над трубами экономайзера защитных щитков (фиг. 9-14), которым во избежание коробления нужно придать достаточную жесткость.

3. Предотвращение неравномерного омывания газами поверхностей нагрева, так как обычно наибольшему износу подвержены сравнительно небольшие участки труб, где скорость дымовых газов особенно велика, или по каким-либо причинам происходит сосредоточенный удар частиц золы (фиг. 9-7 и 9-15). Более быстрый золовой износ происходит и в местах гнба труб, где скорость газов также имеет повышенное значение.

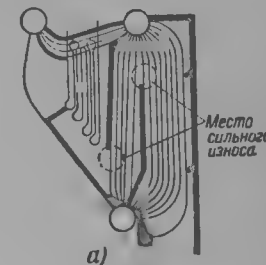
У трехбарабанных котлов с поверхностью нагрева 2500 м² после 20 000 час. работы начались разрывы труб в месте входа дымовых газов во второй и в третий конвективные пучки (фиг. 9-16, а). За год произошло 10 аварийных разрывов.

На специальной модели в лаборатории были организованы измерения, подтвердившие, что в местах золового износа скорость газов действительно была велика. Реконструкция котлов заключалась в снижении на 1½ м газовой перегородки перед пароперегревателем, в полном удалении перегородки за пароперегревателем и в укорочении на 600 мм третьей перегородки (фиг. 9-16, б).

После переделки надежность работы котлов повысилась.



Фиг. 9-15. Местный износ трубы при ударе золы о хомуттик.



Фиг. 9-16. Износ кипя- тильных труб трехбара- банного котла.

а — до переделки; б — после переделки газоходов.

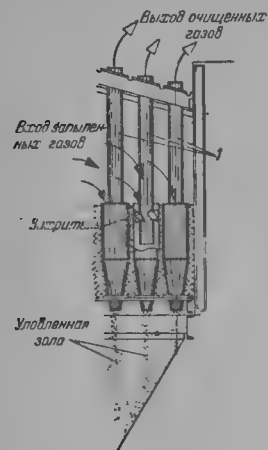
4. Установка легко заменяемых насадок в верхнем конце труб воздухоподогревателя, где имеет место удар частиц золы о трубы (фиг. 9-10).

9.4. ЗОЛОУЛАВЛИВАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА

При сжигании пылевидного топлива большая часть золы выносится из котельного агрегата. Вынесенная газами через дымовую трубу зола оказывает вредное действие на человеческий организм и растения. Летучая зола может вызвать быстрый износ как поверхностей нагрева котла, так и крыльчаток дымососов. Для предотвращения этого производится очистка дымовых газов в золоулавливающих устройствах. Конструкции таких устройств весьма разнообразны; в СССР наибольшее распространение получили следующие типы золоуловителей:

а) Батарейные циклоны (фиг. 9-17), состоящие из каме-

ры, в которой рядами установлено большое число циклонов малого диаметра. Газы движутся между трубами 1, затем, войдя в циклонный элемент, завихриваются расположенным в нем винтом (или розеткой). Благодаря центробежной силе зола отделяется из газового потока и удаляется через насадок. Очищенные газы выходят вверх через центральную трубу циклона.



Фиг. 9-17. Элементы батарейного циклона.

Существенным условием нормальной работы батарейных циклонов является плотность перегородок между верхней камерой очищенных газов, средней (входной) камерой и нижним золовым бункером. При неплотных перегородках количество улавливаемой золы значительно уменьшается из-за перетекания загрязненных газов в камеру очищенных газов. Недопустим также подсос наружного воздуха через золовой бункер, так как это также снижает эффективность работы золоуловителя. Рекомендуется установка под этим бункером водяного затвора на пути удаления уловленной золы.

Правильно установленные батарейные циклоны улавливают 70—80% золы топлива. Их газовое сопротивление при полной нагрузке котла равно около 70 мм вод. ст.

б) В последние годы получили распространение центробежные скрубберы, в которых газы также завихриваются в циклонах, а отделение золы облегчается тем, что стены циклонов орошаются водой. Конструкция таких циклонов получается более простой.

В скрубберах нет ни направляющих винтов, ни центральной трубы. Газы входят в нижнюю часть циклонов и выходят из верхней их части. Эффективность этих аппаратов значительно выше, чем батарейных циклонов.

Если в дымовых газах содержатся продукты сгорания серы, то возникает опасность разъедания золоспускных устройств слабой серной кислотой, образующейся в центробежных скрубберах. В таких случаях выходящую из скрубберов воду приходится нейтрализовать известковым молоком.

в) На многих установках имеются жалюзийные золоуловители ВТИ, работающие по схеме, показанной на фиг. 9-18. Газы подводятся к жалюзийной решетке, в которой они делают резкий поворот на большой угол, в результате чего улавливается большая часть золы, а остав-

шиеся газы при движении вдоль входной камеры постепенно обогащаются золой. Примерно 10% общего количества газов выносит эту золу в циклон, по конструкции подобный пылевому циклону (гл. 3), в котором зола отделяется, а очищенные от золы газы сбрасываются в общий газосход.

Для уменьшения износа водяного экономайзера в некоторых случаях жалюзийные золоуловители устанавливают в камере над экономайзером. При омывании золоуловителя газами высокой температуры необходимо обеспечить надежное охлаждение лопаток жалюзийной решетки.

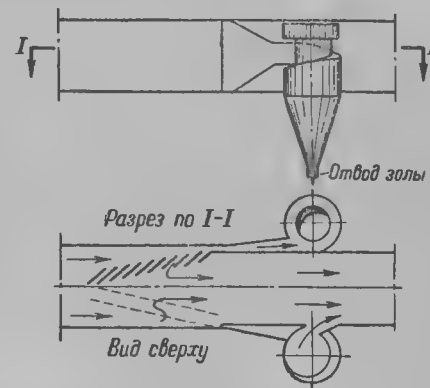
Степень очистки газов в жалюзийных золоуловителях во многом зависит от точности их изготовления. Работа золоуловителя резко ухудшается, например, если расстояние между двумя какими-либо лопатками жалюзийной решетки увеличено и зола вместе с газами проходит через расширенную щель. Совершенно недопустимо коробление лопаток.

При правильной работе степень очистки газов в жалюзийном золоуловителе составляет 60—70%.

г) Наиболее эффективными золоуловителями являются электрофильтры, в которых основная масса золы топлива задерживается на осадительных электродах, а затем под воздействием встряхивающих механизмов сыпается в золовой бункер. Электрофильтры улавливают свыше 90% золы, содержащейся в дымовых газах, имеют небольшие, порядка 20—30 мм вод. ст., сопротивление; их недостатками являются большие габариты и высокая стоимость.

Электрофильтры обычно устанавливают на тех электростанциях, где очистка газов должна быть особенно тщательной.

Есть электростанции, где дымовые газы очищают в последовательно установленных батарейных циклонах и электрофильтрах, чем обеспечивается очистка этих газов от летучей золы на 95—98%.

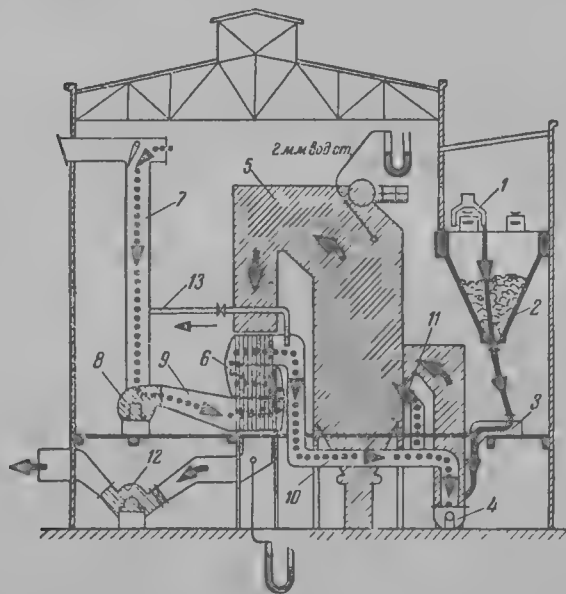


Фиг. 9-18. Схема жалюзийного золоуловителя ВТИ.

ГЛАВА ДЕСЯТАЯ

ТЯГА И ДУТЬЕ

Наиболее распространенная схема движения воздуха и дымовых газов в паровом котле показана на фиг. 10-1 и 10-2. Дутьевыми вентиляторами воздух всасывается, как правило, из верхней части котельной, где его температура несколько выше, чем на уровне обслуживания котла. Этот воздух нагнетается в воздухоподогреватель. На схеме фиг. 10-1 условно показан только один дутьевой вентилятор. На схеме фиг. 10-2 изображены два вентилятора; их нагнетательные трубопроводы к воздухоподогревателю соединены между собой, что позволяет останавливать один из них при снижении нагрузки котла.



Фиг. 10-1. Упрощенная схема тяго-дутьевой установки парового котла. Точками условно обозначен путь воздуха. Черная сплошная линия показывает путь топлива к мельнице. Отдельные стрелки указывают направление движения пылевоздушной смеси и дымовых газов.

1 — транспортер сырого угля; 2 — бункер сырого угля; 3 — ленточный питатель; 4 — шахтная мельница; 5 — паровой котел; 6 — воздухоподогреватель; 7 — всасывающий трубопровод вентилятора; 8 — дутьевой вентилятор; 9 — нагнетательный трубопровод холодного воздуха; 10 — трубопровод горячего воздуха; 11 — подача вторичного воздуха в топку (через шлицы); 12 — дымосос; 13 — трубопровод рециркуляции воздуха.

По выходе из воздухоподогревателя горячий воздух разделяется на два потока. Часть воздуха (первичный воздух) поступает в углеразмольные мельницы (на фиг. 10-1 показана только одна мельница) и затем подается в топку котла вместе с угольной пылью. Другая часть воздуха (вторичный воздух) нагнетается в топку без топлива и смешивается с топливом внутри топочной камеры.

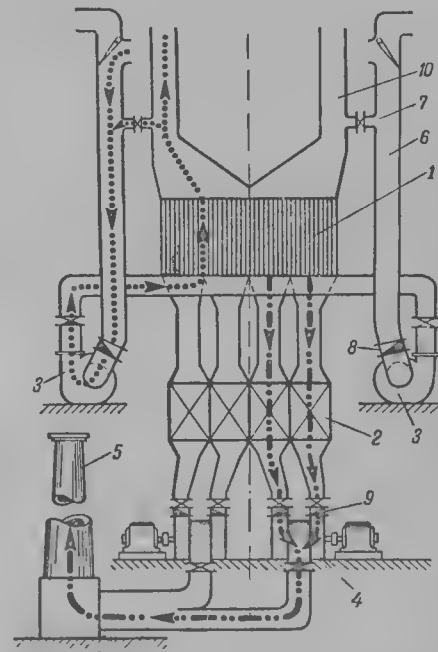
На той же фиг. 10-1 показан путь дымовых газов, проходящих через котел 5, воздухоподогреватель 6 и дымосос 12.

Последним элементом оборудования котельной установки, куда поступают дымовые газы, является дымовая труба.

У котлов малой производительности труба либо полностью обеспечивает тягу в котле, либо дает возможность работать без дымососа при малой нагрузке.

У котлов большой производительности тяга, создаваемая самой дымовой трубой, лишь незначительно помогает работе дымососов.

Для таких котлов высокие дымовые трубы делают главным образом для того, чтобы зола, выходящая вместе с дымовыми газами, рассеивалась в большем объеме воздуха и загрязняла его в меньшей степени.

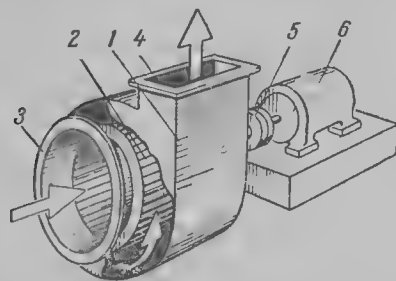


Фиг. 10-2. Схема газозухоподогредов котла.

Слева от оси симметрии пунктиром показан путь воздуха, справа — путь дымовых газов. 1 — воздухоподогреватель; 2 — золоулавливающее устройство; 3 — дутьевой вентилятор; 4 — дымосос; 5 — дымовая труба; 6 — всасывающий трубопровод к дутьевому вентилятору; 7 — линия рециркуляции воздуха; 8 — направляющий аппарат дутьевого вентилятора; 9 — направляющий аппарат дымососа; 10 — воздухопровод горячего воздуха, подаваемого в топку и мельницы.

10-1. УСТРОЙСТВО ВЕНТИЛЯТОРОВ И РЕГУЛИРОВАНИЕ ИХ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

Схема действия центробежного вентилятора (дутьевого, мельничного или дымососа) показана на фиг. 10-3. Воздух (или дымовые газы) поступает через входной патрубок 3 в центральную часть крыльчатки или ротора 2. Ротор вращается с большой скоростью. Лопатки, расположенные по его окружности, отсасывают воздух, (или дымовые газы) из внутренней полости и нагнетают его наружу. Ротор вращается внутри кожуха 1. Выйдя из ротора, воздух (или газы) попадает в расширяющуюся полость между ротором и кожухом вентилятора, которая заканчивается выходным патрубком 4.



Фиг. 10-3. Схема работы центробежного вентилятора.

Передняя часть кожуха условно снята. Стрелки показывают направление движения воздуха. 1 — кожух; 2 — крыльчатка; 3 — всасывающий патрубок; 4 — нагнетательный патрубок; 5 — муфта; 6 — электродвигатель.

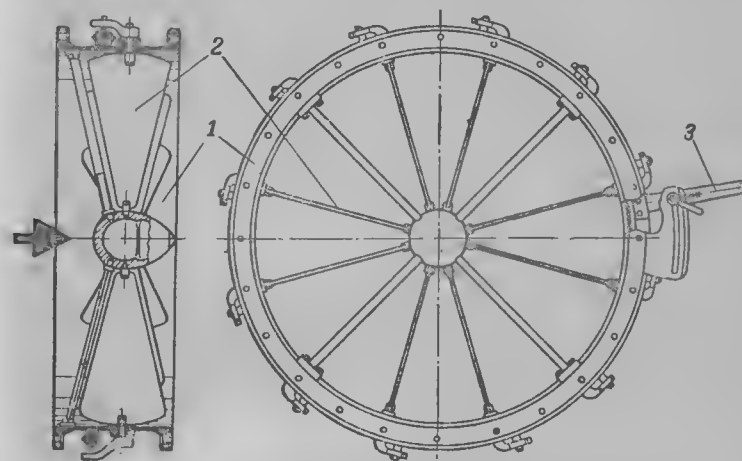
Создаваемое вентилятором (или дымососом) давление (или разрежение) определяет напор вентилятора. Этот напор затрачивается на преодоление сопротивления трения при движении в котле газов или воздуха.

На фиг. 10-1 схематически показано, что тягомер, установленный на выходе дымовых газов из воздухоподогревателя, показывает большое разрежение, в то время как перед пароперегревателем разрежение равно лишь 2 мм вод. ст. Разность этих разрежений почти полностью обусловлена потерей напора дымовых газов на трение в газоходах котла. Важно отметить, что потеря напора на трение дымовых газов или воздуха пропорциональна квадрату их скорости (несколько уменьшаясь с повышением их температуры). Напор, требуемый для движения газов или воздуха, резко уменьшается при снижении нагрузки котла.

Дымососы и дутьевые вентиляторы рассчитаны на работу при полной производительности котла. При нагрузке котла 70% от максимальной потеря напора на трение уменьшается примерно в 2 раза; при снижении нагрузки вдвое потеря напора сокращается в 4 раза и т. д.

При каждом уменьшении нагрузки котла нужно немедленно соответственно регулировать дутье и тягу. Этим не только улучшается работа топки, но и сберегается электроэнергия благодаря сокращению загрузки дутьевых вентиляторов и дымососов.

Существуют различные способы регулирования производительности вентиляторов. Иногда к вентилятору присоединяют два электродвигателя, имеющих разное число оборотов, либо специальный электродвигатель, у которого



Фиг. 10-4. Направляющий аппарат к дутьевому вентилятору. 1 — обод; 2 — лопатка; 3 — рукоять поворотного механизма.

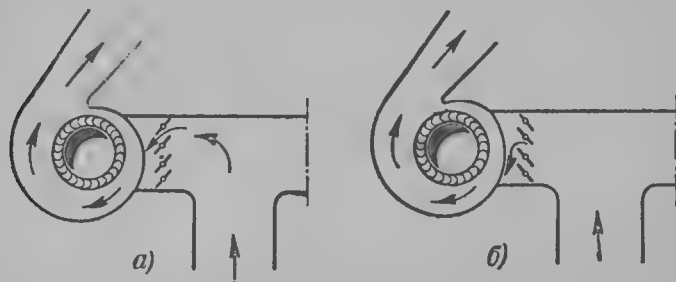
можно изменять скорость вращения. Чем быстрее вращается крыльчатка, тем больший напор создает вентилятор.

В отдельных установках уменьшение напора производят путем прикрытия шиберов. Но наиболее удобным и экономичным считается регулирование при помощи направляющего аппарата, который присоединяют ко всасывающему патрубку вентилятора.

Применяют различные типы направляющих аппаратов. Изображенная на фиг. 10-4 конструкция имеет вид лопаток 2, расходящихся от оси входного патрубка. Все лопатки имеют общий механизм 3, поворачивающий их одновременно и на одинаковый угол. Лопатки придают проходящему через них воздуху предварительное закручивание в

ту же сторону, в которую вращается ротор вентилятора. Чем больше это предварительное закручивание, тем меньше создаваемый вентилятором напор. Поворачивая лопатки направляющего аппарата, можно уменьшить напор вентилятора при малой нагрузке и увеличить напор при полной нагрузке котла.

Одной из конструкций направляющего аппарата являются изображенные на фиг. 10-5,а шиберы перед дымососом.



Фиг. 10-5. Влияние положения неполностью открытых шиберов во всасывающем патрубке на работу дымососа.

а — правильное положение, при котором газы закручиваются по направлению вращения крыльчатки; б — неправильное положение.

сом, придающие дымовым газам закручивание в сторону вращения ротора. В этом случае при частичном прикрытии шиберов происходит уменьшение нагрузки дымососа и одновременно — уменьшение загрузки его электродвигателя. Если же шиберы перед дымососом повернуты в другую сторону (фиг. 10-5,б), то при их частичном прикрытии газы за шиберами должны резко изменить направление движения. Возникает большое завихрение газового потока; дымосос перегружается и снижения загрузки электродвигателя не происходит.

Влияние начального закручивания газов на работу дымососов особо ярко ощущалось на электростанции, где были пущены в работу пять котлов производительностью по 200 т/час. На первых трех котлах дымососы работали удовлетворительно. На следующих котлах сочли более удобным шиберы на всасывающей стороне дымососов сделать поворачивающимися в другую сторону (фиг. 10-5,б). При пуске этих котлов электродвигатели дымососов несли полную нагрузку уже тогда, когда шиберы были открыты на 20°, т. е. при низкой производительности дымососов. Недостаточная тяга ограничивала нагрузку котлов.

Причину плохой работы долго не могли найти. Никто не мог подумать, что всему виной неправильное положение шиберов, которые по форме были такие же, как на первых котлах. Дефектность шиберов

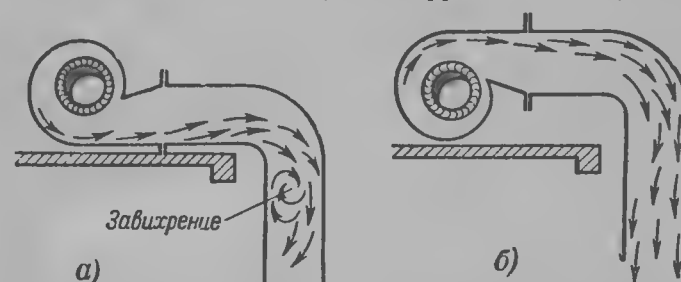
была выявлена лишь тогда, когда решили для облегчения обслуживания одного из первых котлов поставить дистанционное управление шиберами от пола котельной. В связи с этим шиберы повернули в другую сторону и после пуска котла обнаружили резкое ухудшение его тяги — вместо 200 т/час нагрузку нельзя было поднять выше 110 т/час.

Конечно, после этого шиберы были исправлены на всех остальных котлах.

Направляющим аппаратом можно плавно и с любой требуемой точностью регулировать работу машины. Особо важно то, что направляющий аппарат дает возможность значительно уменьшить расход электроэнергии на работу вентилятора при снижении его производительности, что способствует уменьшению расхода электроэнергии на собственные нужды котельного цеха.

10-2. ГАЗОВОЗДУШНЫЙ ТРАКТ КОТЕЛЬНОГО АГРЕГАТА

На фиг. 10-6 схематически показано, как выходит воздух из дутьевого вентилятора. Внутри машины центробежная сила отбрасывает воздух к наружной стенке, и в вы-



Фиг. 10-6. Влияние направления поворота воздуха в нагнетательном трубопроводе за вентилятором на величину потери напора.

а — иррациональная конструкция, при которой создается завихрение и теряется непроизводительно напор; б — рациональная конструкция.

ходном патрубке движение воздуха неравномерно. По мере удаления от вентилятора воздушный поток выравнивается.

Поворот воздуха за вентилятором лучше делать так, чтобы движущийся с большой скоростью воздух прошел на повороте более длинный путь, т. е. направление поворота воздуха сделать одинаковым с направлением вращения крыльчатки. Чем ближе от вентилятора осуществлен неправильный поворот, тем больше в нем непроизводительная потеря напора.

На одном из заводов был закончен монтаж небольшого котла, имевшего один дымосос и один дутьевой вентилятор. Котел распилили

на естественной тяге, но поднять нагрузку не смогли, так как пущенный дымосос не давал почти никакого разрежения. Установка крыльчатки была произведена правильно, все шиберы были полностью открыты, электродвигатель дымососа также был в полном порядке. Наконец, обратили внимание на отрезки швеллера, приваренные поперек сечения газохода в нагнетательном и всасывающем патрубках дымососа. Эти куски швеллера были приварены для придания большей жесткости кожуху дымососа, который при пробном пуске слегка вибрировал. Предполагалось, что отрезки швеллера, занимая лишь небольшую часть газохода, не принесут большого вреда. В действительности, они перерезали газовый поток в зоне его наибольшей скорости и создали настолько большие завихрения, что производительность дымососа снизилась почти до нуля.

Этот пример показывает, как сильно может влиять на условия работы котла состояние внутренней поверхности газозадуховодов.

Иногда внутри металлических воздуховодов приваривают ребра жесткости, считая, что при этом сечение для прохода воздуха сократится лишь на ничтожную величину. Иногда подвески воздуховодов крепят внутри их, или делают различные уступы, острые углы и т. д.

Сравнительно мелкие неровности, уступы или посторонние предметы вредны не потому, что они уменьшают сечение и увеличивают скорость проходящего потока. Их вред заключается в том, что они становятся очагами добавочных завихрений, которые увеличивают потерю напора на трение. Чем больше скорость воздушного или газового потока, тем больше потери напора из-за этих причин.

Ликвидация источников вредных завихрений газов и воздуха является одним из основных мероприятий по уменьшению расхода электроэнергии на дутье и тягу.

10-3. ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ РАБОТА ДУТЬЕВЫХ ВЕНТИЛЯТОРОВ И ДЫМОСОСОВ

Приведенные выше материалы показывают, как тесно увязаны условия работы самого вентилятора с особенностями тракта, по которому движутся проходящие через него дымовые газы или воздух. Особенно ярко выступает эта зависимость при изучении параллельной работы двух вентиляторов на один и тот же котел.

Рассмотрим, как пример, простейший случай. Предположим, что из двух установленных у котла одинаковых дутьевых вентиляторов работает только один. Выдаваемый им воздух распределяется на обе половины котла. Полной нагрузке вентилятора соответствует, предположим, его производительность 100 000 м³/час и напор 300 мм вод. ст.

Второй вентилятор, работая без первого, смог бы дать такие же напор и производительность. Но при параллельной работе на один котел условия резко изменяются.

Можно представить себе, что каждый из двух работающих параллельно вентиляторов дает воздух только на одну половину воздухоподогревателя и на половину из общего числа горелок, правый вентилятор — на правую, а левый — на левую половину. За каждым из вентиляторов по всему пути воздуха поперечные сечения будут вдвое меньше. Если бы каждый из вентиляторов давал через суженные в 2 раза сечения прежнее количество воздуха, равное 100 000 м³/час, то сопротивление увеличилось бы в 4 раза, т. е. составило бы 1 200 мм вод. ст. Конечно, преодолеть такое сопротивление дутьевые вентиляторы не могут.

Из этого примера можно сделать важный вывод: при параллельной работе производительность каждого вентилятора уменьшается. Два одинаковых вентилятора не могут дать вместе вдвое больше воздуха.

Почти во всех случаях целесообразно загружать, насколько возможно, один из двух одинаковых вентиляторов и пускать второй лишь тогда, когда первый не справляется с работой. Этим уменьшается износ вентиляторов и сокращается расход электроэнергии на собственные нужды котельного цеха.

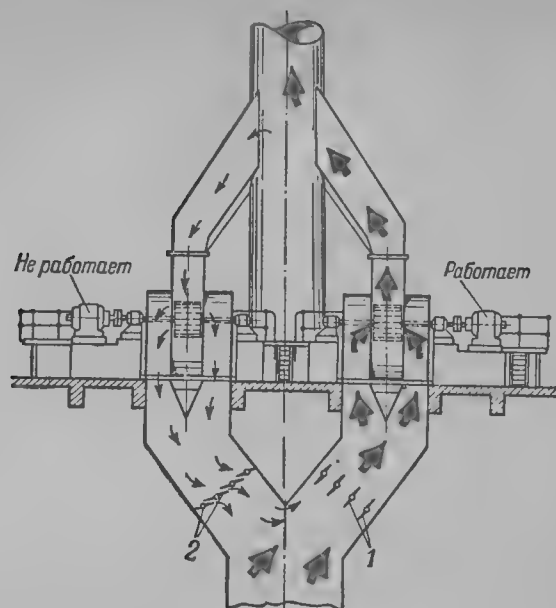
При испытании дымососной установки котла паропроизводительностью 150 т/час оказалось, что два дымососа, работая совместно, могли выдавать почти вдвое больше газов, чем один дымосос. В соответствии с изложенным выше это не могло иметь места.

Тщательный осмотр дал возможность выявить причину такого несоответствия. Оказалось, что при параллельной работе дымососы работали правильно. Но при остановке одного из них начиналась циркуляция дымовых газов, проходивших из нагнетательного патрубка через неработавшую крыльчатку и неплотно закрывавшиеся шиберы (фиг. 10-7). При этом из общего количества газов, проходивших через работавший дымосос, только часть отсасывалась из котла, другая часть газов бесполезно двигалась по круговому пути, показанному на схеме стрелками. Уплотнение шиберов позволило увеличить нагрузку котла, при которой можно было пользоваться только одним дымососом.

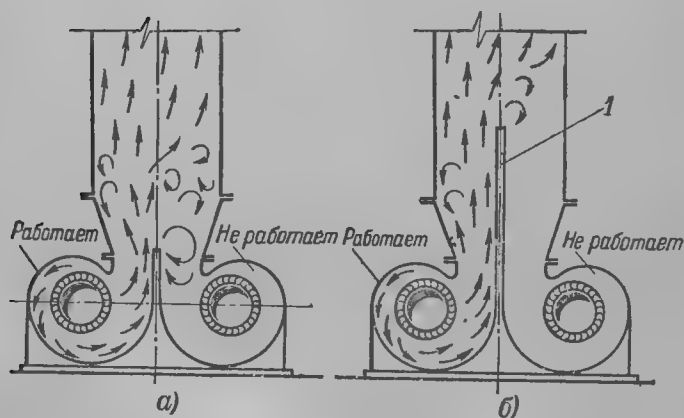
Круговое движение газов бывает иногда настолько велико, что крыльчатка неработающей машины начинает медленно вращаться.

На котлах с дымососами старых типов уменьшение производительности одного дымососа происходит иногда по другой причине. Как схематически показано на фиг. 10-8, над выходным патрубком должна находиться разделяющая перегородка — «язык», выравнивающий газовый поток. Отсутствие такой перегородки приводит к образованию вредных завихрений, из-за которых напор дымососа снижается.

При параллельной работе двух дымососов или двух дутьевых вентиляторов необходимо следить за тем, чтобы все время была одинакова их нагрузка, которую определяют по показаниям амперметров электродвигателей. Если показания амперметров различны, нужно отрегулировать



Фиг. 10-7. Циркуляция дымовых газов через неработающий дымосос.
1 — открытые шиберы; 2 — неполностью закрытые шиберы.



Фиг. 10-8. Влияние на работу дымососа разделяющей перегородки 1 („языка“) в нагнетательном патрубке.
а — неправильно; б — правильно.

нагрузку машин посредством направляющих аппаратов. Работа вентилятора с малой нагрузкой может привести к образованию паразитных завихрений в крыльчатке. Например, с одной стороны входного патрубка вентилятора воздух будет всасываться, а с другой стороны — выбрасываться в противоположном направлении.

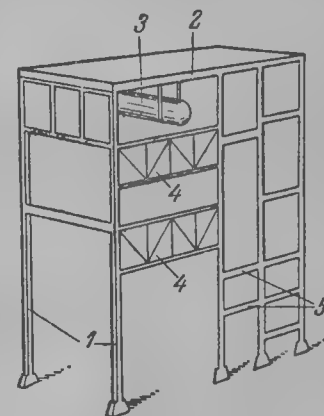
ГЛАВА ОДИННАДЦАТАЯ КАРКАС И ОБМУРОВКА КОТЛА

11-1. КАРКАС КОТЛА

Каркасом котла называют металлическую конструкцию, поддерживающую барабаны, трубную часть котла и частично его обмуровку. В котлах большой производительности каркас является сложной конструкцией и составляет 15—20% веса всего металла котла.

Каркас состоит из следующих элементов: вертикальных колонн 1 (фиг. 11-1), установленных с обеих сторон котла, а в котлах большой производительности и из вспомогательных колонн, расположенных по оси симметрии котельного агрегата; горизонтальных ферм 4 и балок 2, соединяющих эти колонны и воспринимающих непосредственно нагрузку от барабанов, трубной системы, обмуровки и т. п.; ненагруженных ригелей 5, которые служат связями жесткости между колоннами, и из вспомогательных стоек, на которые опираются широкие помосты под горелками и некоторые другие конструкции.

Нагрузки на каркас котла складываются из нескольких отдельных составляющих. Основной нагрузкой на каркас является вес лежащих на нем частей котла. Весовая нагрузка вызывает сжатие и изгиб элементов каркаса.



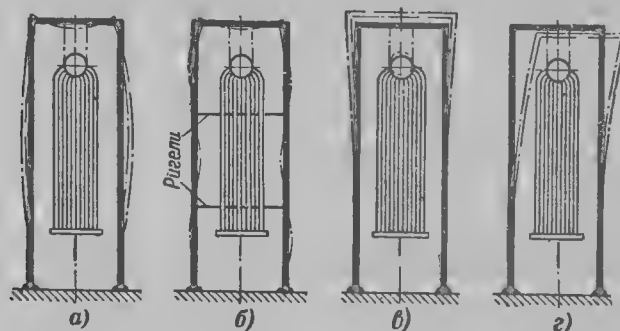
Фиг. 11-1. Схема каркаса котла.

1 — фронтальные колонны каркаса; 2 — балка, на которой подвешен барабан; 3 — барабан; 4 — ферма; 5 — ригель (балка, не несущая нагрузки).

Для ясности показаны колонны, балки, фермы и ригели только двух стен каркаса котла: фронтальной и правой боковой.

На фиг. 11-2,а схематически изображена подвеска барабана и висящих на нем труб бокового экрана к верхней балке каркаса котла. Пунктиром (в преувеличенном виде) показано, как прогибается верхняя балка. Изображенный на фиг. 11-2,а прогиб вертикальных колонн совершенно недопустим, а поэтому между колоннами устанавливают горизонтальные ригели (фиг. 11-2,б).

В нижней части колонн каркаса имеются опорные башмаки, передающие вес котла на фундамент. У большинства



Фиг. 11-2. Схема прогиба элементов каркаса под действием на него различных видов нагрузки.

а — прогиб от веса лежащих на каркасе частей котла; б — то же, что в схеме а, но меньшей величины из-за наличия горизонтальных ригелей; в — прогиб от нагревания каркаса; г — опрокидывание каркаса.

котлов для увеличения жесткости колонн и уменьшения их прогиба башмаки жестко прикрепляют к фундаменту и даже заливают бетоном.

Вторым видом нагрузки на каркас являются напряжения при расширении от нагревания. Большой и неравномерный нагрев может привести к искривлению и короблению колонн и других элементов каркаса. Во избежание этого не допускается чрезмерный обогрев колонн, что достигается, например, оставлением между колоннами и обмуровкой проемов 5, изображенных на фиг. 11-3, через которые может проходить наружный воздух.

На фиг. 11-2,в схематически (в преувеличенном виде) изображен прогиб колонн каркаса при расширении горизонтальных балок от нагревания, а также увеличение высоты котла вследствие нагревания самих колонн. Наибольшее перемещение происходит в верхней части котла, в зоне наиболее высокой температуры.

Третьим видом усилий, на которые должен быть рассчитан каркас, являются усилиями опрокидывания. В большинстве котлов возможность опрокидывания каркаса предотвращается установкой нескольких ферм, которые представляют собой жесткие рамы, приваренные к колоннам.

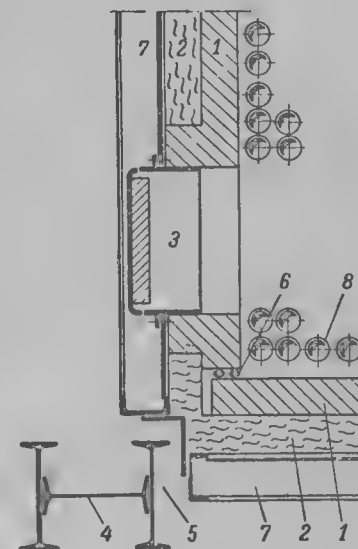
Опрокидывающие котел усилия во много раз возрастают при землетрясении. Поэтому в местности, подверженной землетрясениям, каркасы котлов укрепляют добавочными фермами и растяжками. Иногда жестко связывают между собой каркасы рядом стоящих котлов.

Учитывая особенную серьезность последствий повреждения каркаса котла, необходимо принимать все меры для предотвращения каких-либо неполадок в его работе. Ниже приведены некоторые примеры повреждений каркаса котлов.

а) В конструкции, изображенной на фиг. 11-10,в нижние полки горизонтальных швеллеров были ослаблены рядом отверстий для подвесных тяг. После переделки подвесного перекрытия одного из котлов был обнаружен небольшой прогиб потолочных балок, вызванный их ослаблением дополнительно просверленными отверстиями. Балки были усилены приваркой накладок из полосовой стали.

б) Недопустимый перегрев и коробление балок и колонн верхней части каркаса котла были вызваны недостаточной тягой, вследствие чего в верхней части топки наблюдалось выбывание газов наружу.

в) Иногда недопустимый прогиб либо образование трещин в балках объясняются недостаточно высоким качеством металла (например, повышенным содержанием в нем серы или фосфора). Во избежание этого качество металла



Фиг. 11-3. Горизонтальный разрез угла топочной камеры котла с облегченной обмуровкой.

1—шамотный кирпич; 2—диатомитовый кирпич; 3—лаз в топку; 4—колонна каркаса котла, состоящая из трех двутавровых балок; 5—воздушная прослойка вокруг колонны; 6—асбестовый шнур диаметром 25 мм; 7—обшивочный щит; 8—экраные трубы.

проверяется при его изготовлении на металлургическом заводе и повторно на котлостроительном заводе.

г) Известны случаи, когда котел наклонялся при одностороннем оседании неправильно рассчитанного фундамента.

Новый котел был установлен на электростанции, находящейся на «стрелке», в месте слияния двух рек. Вскоре после пуска нового котла водосмотры обратили внимание на различие высоты уровня воды в левой и правой водоуказательных колонках. При проверке была обнаружена односторонняя осадка фундамента, из-за чего один конец барабана опустился на 50 мм. Дальнейшее оседание удалось предотвратить быстро проведенными мероприятиями.

11-2. ПОМОСТЫ И ЛЕСТНИЦЫ

Помосты котлов состоят из рам, обычно сваренных из швеллеров № 10 и 12, и из приваренных к этим рамам листов рифленой стали толщиной 4—6 мм. Помосты опираются на кронштейны, приваренные либо к колоннам каркаса, либо к рамам обшивочных щитов. Помосты для обслуживания нормально должны иметь ширину 800—900 мм, переходы делаются шириной 600 мм. Отдельные помосты делаются более широкими: площадка водосмотра, помосты перед горелками, для расшлаковки. Наиболее широкие помосты устанавливают для обивки шлака и обдувки поверхностей нагрева. Иногда для этого делают общую площадку для двух соседних котлов.

По правилам котлонадзора все помосты должны иметь наружные, а в местах, где расстояние до обшивки значительно, — и внутренние перила высотой 1 м. В их нижней части выполняется ограждение высотой 100 мм из листовой стали, предохраняющее находящихся внизу людей от случайного падения каких-либо предметов.

Лестницы между помостами состоят обычно из двух стальных полос, между которыми приварены ступеньки. Высоту марша по вертикали делают не более 3 м. При большей высоте подъем становится затруднительным и возможна вибрация лестницы при прохождении по ней людей. Наклон лестниц к горизонту при их высоте более 1,5 м не превышает 50° (в прежних конструкциях котлов 55°), ширина их 600 мм. Лестницы большей ширины не выполняют из-за неудобства пользования ими.

Иногда помосты и ступени лестниц делают не из рифленой листовой стали, а из сотовой или полосовой стали (на

ребро), на которой невозможно отложение золы и пыли. Работать на таких помостах нужно с особой осторожностью во избежание падения какого-либо мелкого предмета на находящихся внизу людей.

11-3. ОБМУРОВКА И ОБШИВКА ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТЕН И ПЕРЕКРЫТИЙ КОТЛА

Вертикальные стены. Обмуровку паровых котлов выполняют нескольких типов. Обмуровку котлов малой и средней производительности выполняют из красного кирпича, облицованного в зоне высокой температуры огнеупорным шамотным кирпичом. Толщина стен принимается от 1½ до 2½ кирпичей. Шамот выкладывают в полкирпича.

Красный кирпич применяют там, где температура внутренней стороны обмуровки не превышает 700° С. При более высокой температуре устанавливают шамотный кирпич, который в зависимости от сорта может выдерживать температуру до 1250—1400° С.

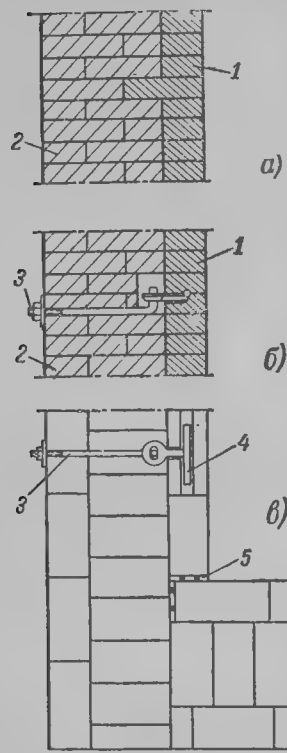
Влажная глина пластична, но при высушивании до полной потери влаги она становится камнеподобной; при повторном смачивании она полностью восстанавливает пластичность. При прокаливании до 450—700° С глина перерождается и теряет свою пластичность, превращаясь в шамот.

Шамотный кирпич изготовляют из смеси глины и размолотого в порошок шамота. Способность выдерживать высокую температуру является главным достоинством шамотных кирпичей.

Материал обмуровки должен иметь небольшую теплопроводность, наружная поверхность обмуровки не должна иметь высокую температуру. Из теплоизоляционных материалов большое распространение получил *диатомит*. Его преимуществами являются малый удельный вес, малая теплопроводность и одновременно тугоплавкость, вследствие чего он весьма удобен для установки на паровых котлах. Из него делают кирпичи, а иногда применяют в виде мелкой крошки для засыпки изолируемых деталей. Применяется также ряд искусственных изоляционных материалов — *совелит*, шлаковая вата и др.

На фиг. 11-4 показаны два вида перевязки между красным и шамотным кирпичами. Перевязка *а* более простая, но применение ее для высоких стен не рекомендуется из-за возможности поломки выступающих шамотных кирпичей вследствие того, что внутренняя часть обмуровки больше нагревается и перемещается по высоте относительно наружной части.

Безопасное взаимное перемещение шамотного и красного кирпича достигается конструкцией, показанной на фиг. 11-4, б и в, в которой перевязка производится распорными крючьями 3 с чугунными якорями 4. У всех котлов, кроме самых малых, подобная обмуровка может осуществляться только для вертикальных стен.



Фиг. 11-4. Обмуровка нормального типа.

а — кладка с перевязкой между шамотной облицовкой и красным кирпичом; б и в — кладка с распорными крючьями; б — вид сбоку; в — вид сверху. 1 — шамотный кирпич; 2 — красный кирпич; 3 — распорный крюк; 4 — якорь распорного крюка; 5 — вертикальный температурный шов, уплотненный шнуром асбестом.

а снаружи — соевелит, шлаковую, вату или подобный им материал.

Изоляционные материалы обладают малой прочностью и легко выкрашиваются; сквозь них может проходить воз-

дух. Во избежание износа обмуровку покрывают снаружи обшивкой, состоящей из стальных листов толщиной 2—3 мм, которые по краям приварены к обшивочным рамкам.

У котлов большой производительности вертикальные стены обычно выполняют облегченного типа, что позволяет значительно уменьшить вес котлов и нагрузку на фундамент. Кроме того, при большой высоте и ширине обмуровка изображенного на фиг. 11-4 типа легко растрескивается, особенно при неравномерном обогреве.

Облегченная обмуровка обычно состоит из двух или трех слоев. Внутри газохода обращен слой шамотного или красного кирпича. Шамотный кирпич должен быть установлен там, где температура внутренней поверхности обмуровки превышает 600—700°С, а также на участках, где возможно шлакование. За экранными трубами при густом экранировании и тугоплавкой золе, а также по стенам водяного экономайзера допустима установка красного кирпича высокого качества, выкладываемого на растворе из огнеупорной глины и молотого шамота.

За первым слоем кирпича обычно находится один или два слоя изолирующих материалов. Обыкновенно ближе к огневой стороне помещают слой диатомитового кирпича,

где возможно шлакование. За экранными трубами при густом экранировании и тугоплавкой золе, а также по стенам водяного экономайзера допустима установка красного кирпича высокого качества, выкладываемого на растворе из огнеупорной глины и молотого шамота.

За первым слоем кирпича обычно находится один или два слоя изолирующих материалов. Обыкновенно ближе к огневой стороне помещают слой диатомитового кирпича,

где возможно шлакование. За экранными трубами при густом экранировании и тугоплавкой золе, а также по стенам водяного экономайзера допустима установка красного кирпича высокого качества, выкладываемого на растворе из огнеупорной глины и молотого шамота.

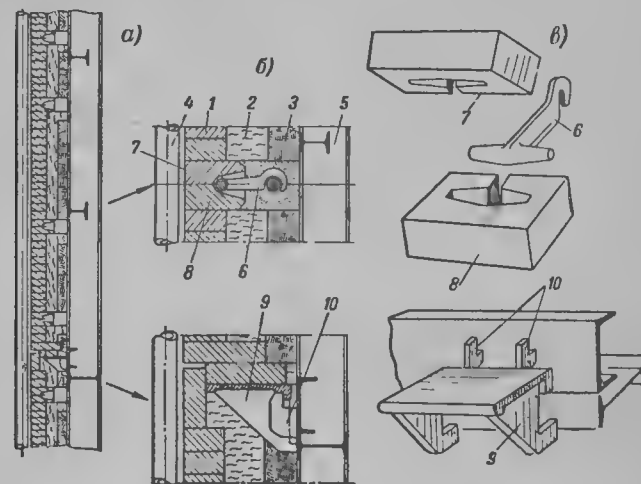
Примерно через каждый метр высоты устанавливают ряды растяжек (кляммеров), которые предохраняют обмуровку от выпучивания в сторону топки. Растяжки обычно состоят из чугунного «якоря» 6, присоединенного крючком к трубе, прикрепленной к обшивке котла. Другим концом якоря входят в пазы фасонных кирпичей 7 и 8.

Беспрепятственное тепловое расширение обмуровки обеспечивается температурными швами. Горизонтальные швы расположены обычно перед опорными кронштейнами, т. е. установлены через каждые 3—4 м высоты обмуровки. Швы для расширения обмуровки в горизонтальном направлении преимущественно располагают в местах стыковки стен. Как правило, предусматривают лишь швы для расширения шамота. Диатомит и другие изоляционные материалы имеют более низкую температуру, их расширение невелико и компенсируется за счет их пористости.

На фиг. 11-3 изображен горизонтальный разрез угла топочной камеры. Обмуровка — двухслойная, температур-

ный шов имеется только в слое шамота и для повышения плотности забит шнуровым асбестом. На чертеже видно, что встроенный в обмуровку лаз 3 облицован шамотом на всю глубину проема.

Обшивочный щит (фиг. 11-6) обычно состоит из прямоугольной рамы, сделанной из швеллеров и двутавров,



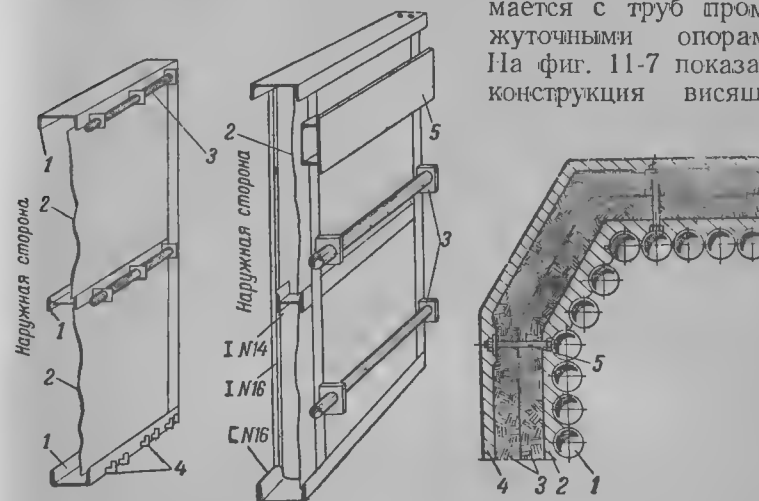
Фиг. 11-5. Конструкции облегченной обмуровки вертикальной топки котла большой производительности.

а — вертикальный разрез стены топки; б — узлы стены; в — вид отдельных деталей в перспективе.
1 — шамотный кирпич; 2 — диатомитовый кирпич; 3 — совелит; 4 — экранная труба; 5 — обшивочная рама; 6 — натяжной крюк; 7 и 8 — фасонные кирпичи для натяжного крюка; 9 — опорный кронштейн; 10 — крючья для опорного кронштейна

к которой сплошным швом приварены стальные листы. К внутренней стороне рамы крепят крючья для кронштейнов обмуровки, трубы для клеммеров и другие детали.

У большинства котлов обшивка опирается на каркас. Есть, однако, котлы, у которых обмуровка висит на трубах и вместе с ними перемещается при тепловом удлинении экрана. При такой конструкции исключается возможность неправильного теплового перемещения труб из-за забивания золы между ними и обмуровкой; облегчается также уплотнение экранных камер. Но дополнительный вес обмуровки и обшивки создает в трубах добавочное напряжение, растягивает и разгибает их, стремится вырвать их верхние концы из вальцовки.

Висящую на трубах обмуровку стремятся сделать как можно легче, а сами трубы — расположить как можно ближе друг к другу. Имеются конструкции, где расстояние между экранными трубами равно 2—4 мм, и за трубами находится лишь тонкий слой изоляции. Часть нагрузки снимается с труб промежуточными опорами. На фиг. 11-7 показана конструкция висящей



Фиг. 11-6. Вид изнутри топки на обшивочные щиты. Передняя половина каждого щита условно оторвана.

1 — балки рамы щита; 2 — стальной лист толщиной 2—3 мм; 3 — трубы для крепления опорных крючьев обмуровки; 4 — крючья для кронштейнов обмуровки; 5 — рама для крепления кронштейнов обмуровки

Фиг. 11-7. Угол топки, обмурованной прикрепленными к трубам матрацами из минеральной ваты.

1 — экранная труба; 2 — огнеупорный бетон; 3 — матрацы из минеральной ваты; 4 — уплотнительная штукатурка; 5 — стяжной болт.

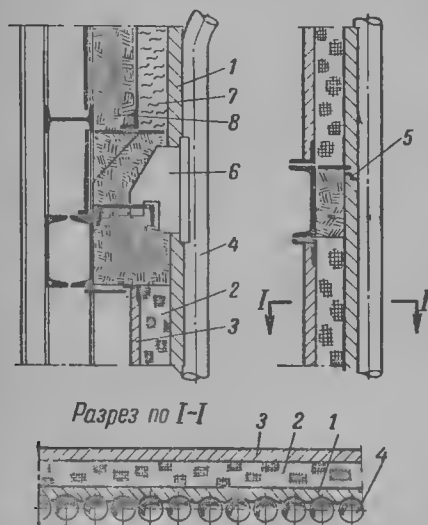
на трубах обмуровки без металлической обшивки. На каждую трубу приходится лишь небольшая дополнительная весовая нагрузка.

Торкрет и шамотобетон. Для защиты от воздействия пламени и горячих газов барабанов котла, коллекторов, газовых коробов и других металлических поверхностей применяют плотную огнеупорную массу — торкрет. Огнеупорную массу для придания ей прочности наносят на каркас или проволочную сетку, которая остается внутри торкрета, на глубине 40—50 мм от поверхности, подлежащей торкретированию.

Прочность и долговечность торкрета в значительной мере зависят от правильности и тщательности работ по его

нанесению. Защищаемая поверхность предварительно должна быть очищена от грязи и масла. Каркас или проволочная сетка должны быть надежно укреплены. Проволоку иногда отжигают, чтобы сделать ее более мягкой.

Закрываемые торкретом участки экранных и кипятельных труб обматывают картоном толщиной до 4—5 мм. Манжеты из картона должны доходить до барабана или



Фиг. 11-8. Вертикальная стена топки из шамотобетона.

1 — шамотобетон; 2 — матрац из шлаковаты; 3 — уплотнительная штукатурка; 4 — экранная труба; 5 — температурный шов в шамотобетоне; 6 — распорный крюк трубы; 7 — диатомитовый кирпич; 8 — засыпка из шлаковаты.

Одна из конструкций вертикальной стены из шамотобетона показана на фиг. 11-8. Огнеупорная вязкая масса залита в пространство между диатомитовой изоляцией и картоном, который опирается на экранные трубы и в дальнейшем выгорает. Шамотобетонная стена обычно поддерживается металлическими тягами, которые вставляют в нее до заливки раствора. Важнейшим преимуществом шамотобетонной обмуровки является быстрота ее монтажа. Отпадает необходимость ручной выкладки каждого отдельного кирпича, в том числе большого числа фасонных кирпичей.

Перекрытия котла. Перекрытия котла можно разделить на три основные группы:

1. Сводчатые перекрытия, выкладываемые из клиновидного кирпича (фиг. 11-9). У котлов большой производительности такие перекрытия встречаются преимущественно над проемами малых размеров, например над отверстиями для лазов.

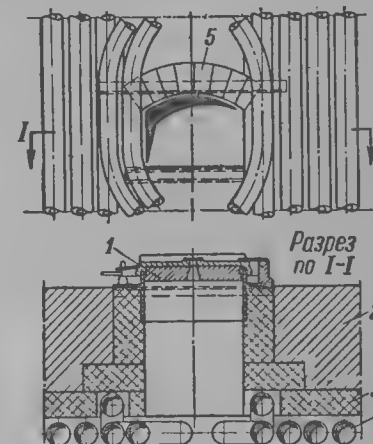
2. Подвесные перекрытия с самостоятельной подвеской всех или части кирпичей, еще недавно являвшиеся наиболее распространенными. Конструкции таких перекрытий весьма разнообразны.

В наиболее тяжелых условиях работают те перекрытия, у которых кирпич не защищен с огневой стороны экранными или иными трубами.

Большое распространение имеют изображенные на фиг. 11-10, а и в схемы, в которых каждый из фасонных кирпичей надевается на две чугунные или стальные балки. Эксплуатационная проверка показала, что такое перекрытие не всегда работает удовлетворительно, так как каждый кирпич поддерживается с двух сторон, что при неточной сборке, неточном изготовлении кирпичей или при прогибе потолочных конструкций приводит к недопустимому перекосу.

Еще большее значение имеет другая особенность такой конструкции. Если кирпичи изготовлены не тщательно, в них остаются трещины. Один или два кирпича из всего перекрытия могут расколоться и выпасть, обнажив балки, которые могут перегореть, создав опасность разрушения. Исправное состояние такого перекрытия нужно периодически проверять.

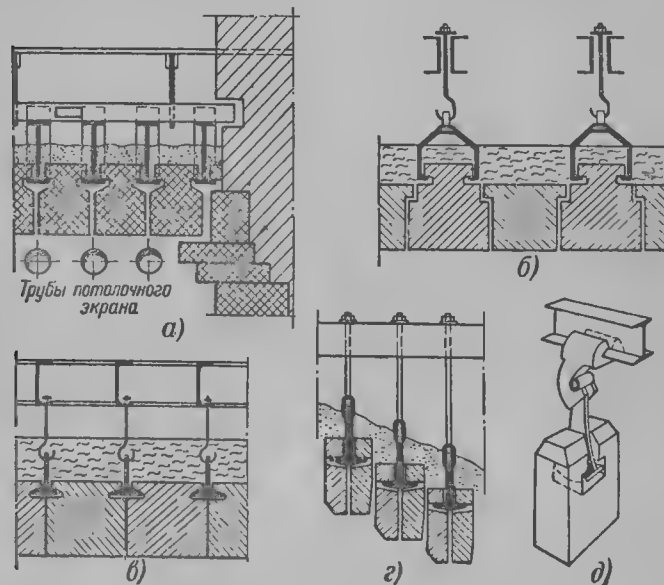
На фиг. 11-11 показана одна из конструкций подвесного перекрытия, в котором тяги присоединены к средней части



Фиг. 11-9. Лаз в топку котла с нормальной обмуровкой.

Показано, как стенки лаза выложены огнеупорным шамотным кирпичом на всю глубину обмуровки. Видно, как разведены в стороны экранные трубы. 1 — лаз; 2 — красный кирпич; 3 — огнеупорный шамотный кирпич; 4 — экранная труба; 5 — кирпичный свод над лазом.

кирпичей. Здесь меньше сказываются неточность изготовления и наличие различных перекосов. Повреждения перекрытий этого вида имели место лишь при некачественном исполнении кирпичей и образовании в них трещин, по которым кирпич отламывался и выпадал. Если под перекрытием находятся трубы экрана или пароперегревателя,



Фиг. 11-10. Различные конструкции крепления подвесных кирпичей.

a и б — подвешивание каждого кирпича к двум балкам; *б* — независимое подвешивание отдельных кирпичей; другие кирпичи висят на подвешенных; *г* — на каждой подвеске висят два кирпича; *д* — независимое подвешивание каждого отдельного кирпича.

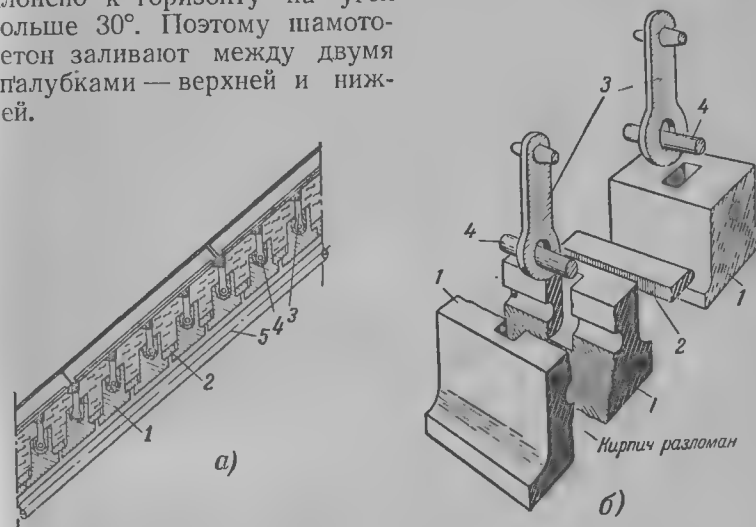
то выпавший кирпич ими удерживается, но при отсутствии труб выпадение только одного из кирпичей влечет падение всего изолирующего слоя обмуровки, оголение металлических тяг и быстрое разрушение всего перекрытия.

Хотя такое разрушение бывает редко, но прочность перекрытия нужно систематически проверять. В частности, нельзя оставлять без внимания появление выпавших кирпичей в шлаковом бункере.

3. Наибольшую долговечность имеет шамотобетонное перекрытие. Шамотобетон заливают в дере-

вянную опалубку, в которую предварительно установлены обмотанные картоном опорные балки.

На фиг. 11-12 показана конструкция одного из таких перекрытий. Под балки обшивочной рамы 8 наклонного потолка топочной камеры приварены короткие отрезки двутавра 4. К ним на болтах присоединены балки 5, вырезанные из двутавровой прокатной стали. Эти балки обматывают картоном и на них подвешивают проволоочную сетку 6, после чего заливают шамотобетоном. Перекрытие наклонено к горизонту на угол больше 30° . Поэтому шамотобетон заливают между двумя опалубками — верхней и нижней.



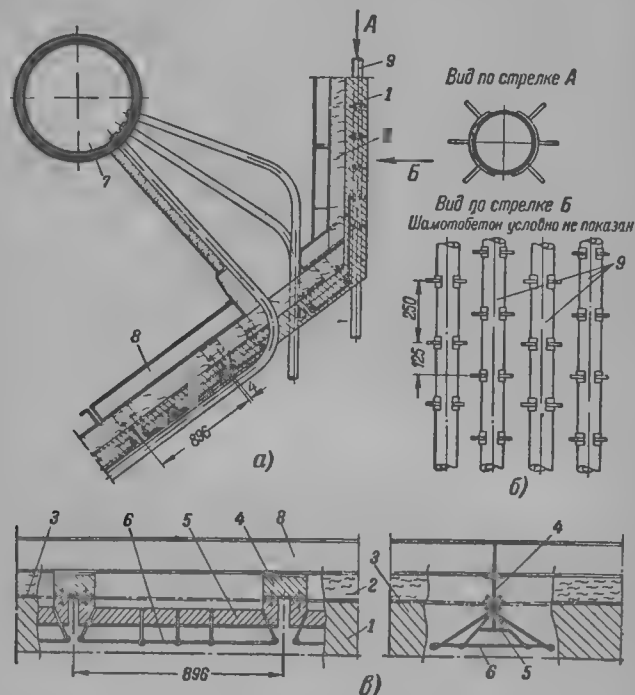
Фиг. 11-11. Крепление подвесного перекрытия наклонного потолка топочной камеры.

a — разрез перекрытия; *б* — отдельные детали разобранного перекрытия. 1 — подвесной кирпич; 2 — соединительный кирпич; 3 — подвеска из жароупорной стали; 4 — нижняя поперечина из жароупорной стали, проходящая через отверстие в кирпиче; 5 — экранная труба.

Верхний слой перекрытия состоит из изолирующего материала, диатомитовых кирпичей либо изоляционной массы, состоящей на 70% из диатомита. Между изоляционным материалом и шамотобетоном кладут в виде штукатурки слой жаростойкой обмазки толщиной 20 мм. Она служит для дополнительного уплотнения перекрытия и состоит из равного количества шамотного порошка и обожженного диатомитового порошка, в которые добавлены связывающие примеси.

Характерные свойства шамотобетона — его монолит-

ность, способность устойчиво работать даже при обрыве части креплений, относительная быстрота монтажа — скажутся с особой эффективностью при работе подвесных перекрытий. Перекрытие из шамотобетонных плит может длительно устойчиво работать даже в тяжелых условиях эксплуатации.



Фиг. 11-12. Узлы перекрытия из шамотобетона.

а—вид наклонного и вертикального участков перекрытия; б—вид по стрелке А и Б на трубы; шамотобетон условно не показан; в—участок горизонтального перекрытия; опорные балки для ясности заштрихованы. Шамотобетон условно не показан в зоне опорных конструкций.
1 — шамотобетон; 2 — диатомит; 3 — жаростойкая обмазка; 4 и 5 — опорные балки; 6 — каркас из проволоки; 7 — барабан котла; 8 — обшивочная рама; 9 — экранная труба

У котла высокого давления наклонное перекрытие между фестоном и пароперегревателем было установлено из некачественных подвесных кирпичей. Перекрытие вскоре разрушилось, и обнажившиеся чугунные подвесные балки стали под действием высокой температуры увеличиваться в длину — расти. Перекрытие было залито шамотобетоном. Рост чугунных балок продолжался и под слоем шамотобетона. Балки уперлись друг в друга (зазоры между ними были малы); поддерживавшие их болты были срезаны. Обычно шамотобетонное перекрытие разделяют на части температурными швами, путем укладки через каждые 1—2 м

полосы фанеры. Впоследствии фанера выгорает, оставляя щели шириной около 4 мм. В описанном случае температурные швы отсутствовали; расширяясь, шамотобетон смещал чугунные балки, что также привело к обрыву части поддерживавших болтов.

В результате шамотобетонное перекрытие провисло над газоходом, имевшим ширину более 8 м. Несмотря на обогрев дымовыми газами с температурой до 1000° С, это перекрытие проработало 11 мес. и было сменено при капитальном ремонте котла.

Этот пример показывает, к каким последствиям может привести неправильная установка шамотобетонного перекрытия, но одновременно характеризует высокий запас прочности, присущий таким конструкциям. Наибольшую опасность и при правильно выполненном перекрытии представляет частичное выгорание шамота под действием очень высокой температуры.

Разрушение шамотобетонного перекрытия может быть вызвано и неправильным подбором в него материалов. Характерен следующий пример.

У котла высокого давления шамотобетонное перекрытие между фестоном и пароперегревателем частично разрушилось за 3 недели работы котла. Оставшиеся участки шамотобетона были настолько хрупкими, что легко выламывались руками. Проверка показала, что арматура и крепления были установлены правильно, температурные швы имели требуемую ширину 4 мм. Изготовление шамотобетона произвели точно по инструкции — было взято 80% по весу молотого шамота и 20% глиноземистого цемента. Но качество шамота и цемента своевременно не проверили. Оказалось, что в молотом шамоте было чрезмерное количество кварцевого песка, зерна которого при нагревании расширились гораздо больше, чем остальной шамотобетон. Низкое качество было и у глиноземистого цемента. Это и привело к растрескиванию перекрытия.

Переход к шамотобетону значительно ускоряет монтаж и одновременно повышает прочность обмуровки, а потому неполадки из-за неумелого возведения шамотобетонных конструкций не могут служить основанием для отказа от дальнейшего их внедрения.

ГЛАВА ДВЕНАДЦАТАЯ

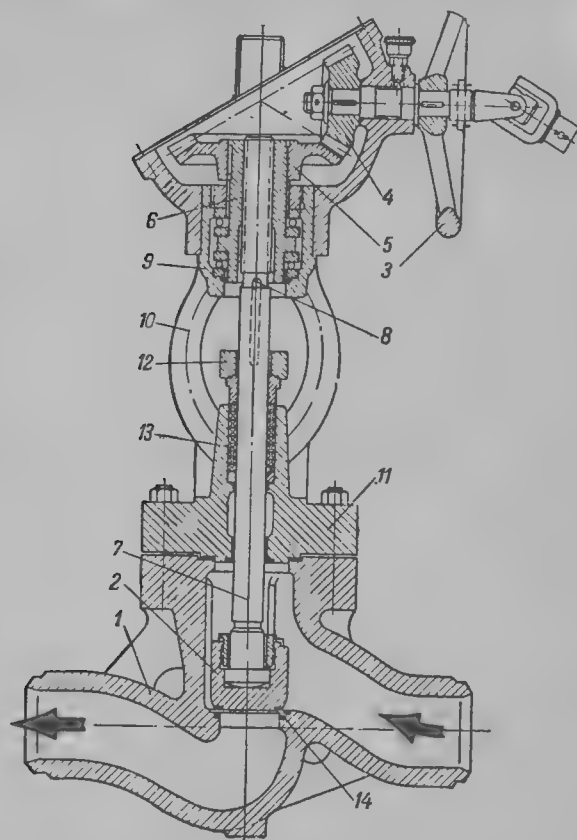
АРМАТУРА КОТЛА

Для управления котлом устанавливают следующую арматуру: вентили, задвижки, клапаны и водоуказательные приборы.

12-1. ВЕНТИЛИ И ЗАДВИЖКИ

На фиг. 12-1 показана распространенная конструкция вентилей на давление 110 ат. Через корпус вентилей 1, вваренный в трубопровод, проходит вода или пар, количество

которых регулируется поднятием или опусканием тарелки 2, при помощи вращения штурвала 3, соединенного посредством конических шестерен 4 и 5 со втулкой 6. Внутри



Фиг. 12-1. Вентиль высокого давления с коническим приводом.

1 — корпус вентиль; 2 — тарелка; 3 — штурвал; 4 и 5 — конические шестерни; 6 — втулка; 7 — шпindel; 8 — направляющая поверхность; 9 — мостик; 10 — колонка; 11 — крышка вентиль; 12 — сальник; 13 — набивка сальника; 14 — седло.

втулки имеется отверстие на резьбе, в которое вставлена верхняя нарезная часть шпинделя 7. Когда втулка 6 с зубчаткой 5 вращаются вокруг своей оси, то шпindel удерживается от вращения направляющей поверхностью или планкой 8, и перемещается по резьбе вверх или вниз. Вме-

сте со шпинделем перемещается присоединенная к его нижнему концу тарелка 2.

Штурвал 3, шестерни 4 и 5, втулка 6 присоединены к мостику (траверзе) 9, укрепленному через колонку 10 на крышке вентиль 11. Весьма важно для надежной работы арматуры уплотнение места выхода шпинделя 7 через крышку 11. Уплотнение производится сальником 12, который сжимает набивку 13.

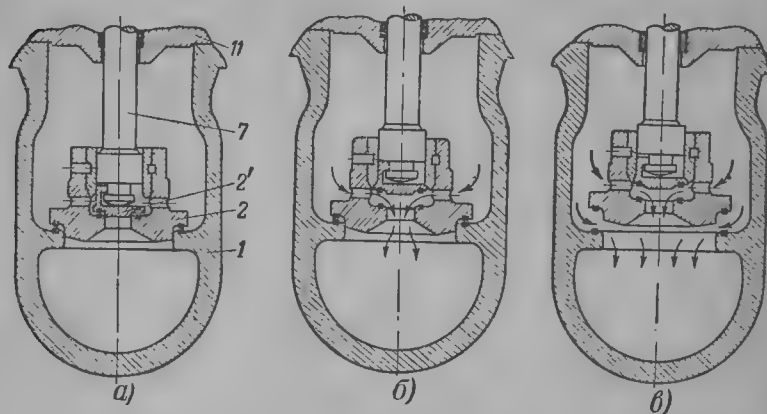
Регулировать количество пропускаемой через трубопровод воды (или пара) можно при движении их через вентиль в любом направлении. Но от направления течения жидкости зависит удобство открытия и закрытия вентиль. Если жидкость подается под тарелку, т. е. сначала проходит через седло 14, а потом омывает тарелку 2, то значительно облегчается открытие вентиль, но требуется большее усилие для полного его закрытия. Подача жидкости под тарелку удобна также тем, что в периоды, когда вентиль закрыт, разгружается сальник 12.

Если жидкость подавать в обратном направлении, т. е. на тарелку вентиль, то несколько затрудняется его открытие из полностью закрытого положения. Это является основным недостатком подачи жидкости на тарелку. Главным преимуществом такой работы является увеличение плотности закрытия, поскольку в закрытом вентиле вода или пар с большой силой прижимают тарелку к седлу. Это имеет наибольшее значение для арматуры высокого давления.

Обычно в вентильях малого диаметра жидкость подается под тарелку. У вентильей большого диаметра осуществляется подача жидкости на тарелку, а для облегчения открытия применяют разгрузку вентиль либо путем отвода воды мимо вентиль по трубе малого диаметра (по байпасу), либо путем установки в средней части тарелки 2 другой тарелки малого диаметра. На фиг. 12-2 показано, как при подъеме шпинделя 7 сначала происходит подъем малой тарелки 2' на определенную высоту и как затем она поднимает за собой основную тарелку 2.

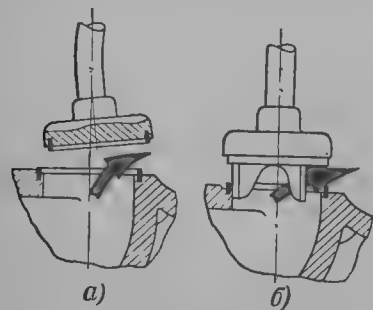
Тарелка вентиль должна опускаться на седло равномерно, без перекосов. Для этого к тарелке прикрепляют особые направляющие (перья) (фиг. 12-3,б), при отсутствии которых тарелка может быть смещена давлением воды. При высоком давлении направляющие нужны даже у вентильей малого диаметра.

Неплотность затвора вентиля может происходить из-за различных причин. Иногда она объясняется наличием раковин в некачественно изготовленной стальной отливке корпуса.



Фиг. 12-2. Схема открытия вентиля с разгрузочной малой тарелкой. Обозначения те же, что и на фиг. 12-1.
а — закрытый вентиль; б — открытие малой тарелки; в — полное открытие вентиля

пуска. Через раковины вода (или пар) просачивается, минуя уплотнение. Значительно чаще неплотность затвора вызывается попаданием между седлом и тарелкой песка, окалины, грата от сварки или других посторонних предметов.



Фиг. 12-3. Схематическое изображение положения тарелки вентиля.

а — при отсутствии направляющих;
б — при наличии направляющих.

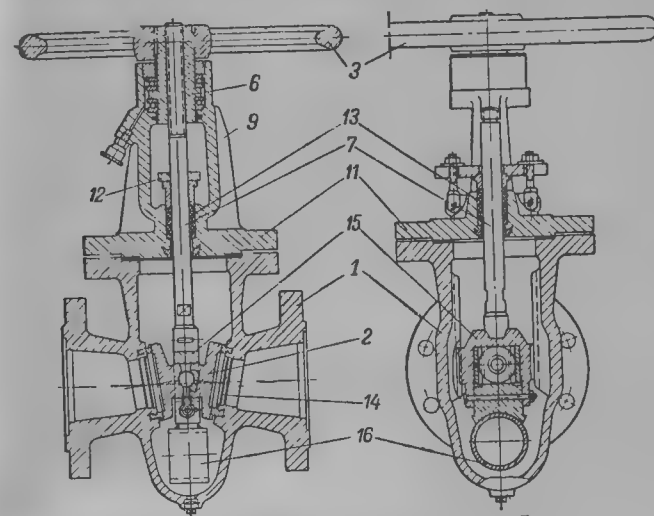
При неплотности затвора нужно приоткрыть вентиль и снова попытаться закрыть. Посторонний предмет может тогда быть смытым в сторону. Чрезмерное зажатие не допускается, так как при этом посторонний предмет врежется в седло и в тарелку и может повредить их поверхность.

В отличие от вентиля, которыми производят изменение (регулирование) количества проходящей жидкости, задвижки устанавливают только для того, чтобы иметь возможность полностью прекращать подачу воды или пара.

Механизм задвижки допускает только два положения — полное открытие либо полное закрытие.

На фиг. 12-4 показана распространенная конструкция задвижки. Верхняя часть — привод для движения шпинделя и конструкция сальника у задвижки и вентиля одинаковы.

На фиг. 12-1 показан вертикальный маховик с коническим приводом; на фиг. 12-4 маховик непосредственно со-



Фиг. 12-4. Задвижка для пара с маховиком.
15 — вилка; 16 — направляющая труба.
Остальные обозначения те же, что на фиг. 12-1.

единен с втулкой, поднимающей шпindel. Каждая из этих конструкций может быть установлена как на вентиле, так и на задвижке.

Нижний конец шпинделя 7 присоединен к вилке 15, которая поднимает или опускает две тарелки 2. На чертеже тарелки показаны в нижнем положении. Давлением шпинделя обе тарелки прижимаются к седлам. В верхнем, открытом положении тарелки поднимаются в особое пространство под крышкой 11, а на их место между седлами устанавливается направляющая труба 16, способствующая более плавному протеканию жидкости через задвижку. Симметричное расположение седел и тарелок внутри корпуса позволяет направлять жидкость через открытую задвижку в любую сторону.

Седла задвижек высокого давления рекомендуется изготовлять из мягкой стали. Поверхность седла, прилегающую к тарелке, наплавляют твердым сплавом, затем растачивают и шлифуют. При закрытии задвижки мягкий, текучий металл седел плотно прижимается к корпусу и заполняет все щели и неплотности. Таким образом, применение для седел простой мягкой стали приводит к лучшему результату, чем применение легированных марок стали. Задвижкой нельзя регулировать подачу воды в котел. Если задвижка полузакрыта, то ее седла омываются водой неравномерно, из-за чего происходит быстрое истирание запорных поверхностей.

Все вентили и задвижки нужно систематически проверять прокручиванием штурвала на плавность и легкость хода. Этим обеспечивается безотказная работа арматуры при необходимости ее быстрого закрытия либо открытия. Наиболее часто тугое поворачивание шпинделя вентиля или задвижки объясняется одной из следующих причин:

- а) чрезмерным зажатием при закрытии арматуры;
- б) слишком большой затяжкой сальника и трением между его набивкой и шпинделем;
- в) перекосом шпинделя;
- г) снятием резьбы шпинделя или втулки.

Все эти причины заедания вполне могут быть устранены, но исправление или замена шпинделя и втулки допустимы только при остановке котла. Работа же котла с неисправной, туго открываемой арматурой может привести к очень тяжелым последствиям.

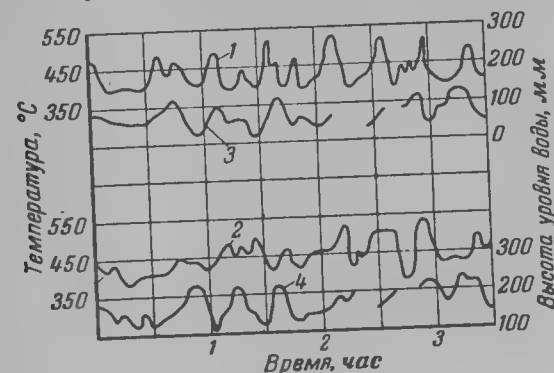
Из-за начавшихся морозов пришлось срочно пустить в работу неподготовленный к эксплуатации трехбарабанный котел НЗЛ 35 ат, 425°С. Топливо (кусковой торф) сжигалось на цепной колосниковой решетке, пар использовался для отопления зданий, следовательно, котел работал с почти постоянной нагрузкой. Температура перегретого пара непрерывно колебалась в очень широких пределах и часто повышалась до 500°С (фиг. 12-5), что могло привести к перегосу змеевиков пароперегревателя.

Котел был пущен в работу с неисправными питательными вентилями, шпиндели которых были заклинены в верхнем (открытом) положении. Водосмотру приходилось сигнализировать вниз, где на уровне площадки машиниста котла был расположен дополнительный вентиль. Из-за этого уровень воды в верхних барабанах изменялся на большую величину. У котла не было экономайзера, и питательная вода входила в барабан с температурой 100°С. На фиг. 12-5 видно, что перегрев пара возрастал при повышении уровня, когда в котел подавалось излишнее количество относительно холодной воды, из-за чего парообразование уменьшалось и каждый килограмм пара больше нагревался в пароперегревателе.

Этот пример показывает, как неисправность питательного вентиля резко ухудшила условия работы котла. Лишь немедленная остановка

котельного агрегата и ремонт вентиля предотвратили перегос змеевиков пароперегревателя.

Арматуру высокого давления присоединяют к трубопроводу на сварке. Единственный фланец сохранен в при-



Фиг. 12-5. Изменение температуры перегретого пара при резких изменениях уровня воды в котле.

1 — температура перегретого пара с правой стороны котла; 2 — то же, с левой стороны; 3 — уровень воды с правой стороны котла; 4 — то же, с левой стороны.

соединении крышки к корпусу. Этим уменьшается возможность неплотности арматуры и повышается запас ее эксплуатационной надежности.

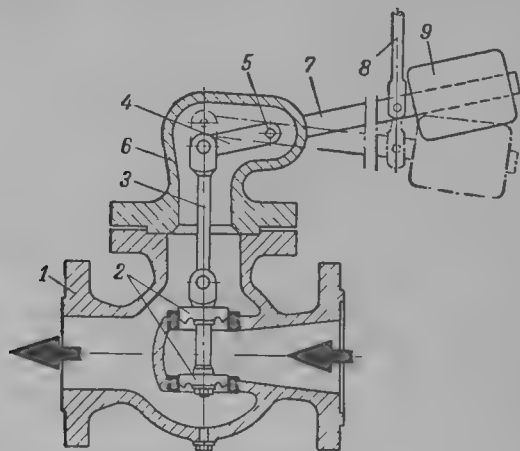
12-2. КЛАПАНЫ

Клапаном называется запорный или регулирующий орган автоматического действия. У паровых котлов имеются следующие типы клапанов: обратный, питательный, редукционный и предохранительный.

Обратный клапан препятствует движению жидкости в трубе в направлении, противоположном требующемуся. Так, например, обратные клапаны на питательных линиях закрываются при аварийном падении давления в питательных магистралях и препятствуют выпуску воды из котла.

Питательный клапан (фиг. 12-6) служит для автоматического регулирования питания котла. Количество проходящей через клапан питательной воды регулируется изменением подъема над седлами двух тарелок 2, присоединенных к общему штоку 3. Подъем и опускание штока

производятся кривошипом 4, насаженным на валик 5. Шток и кривошип перемещаются внутри головки клапана 6, конец валика 5 выходит из головки и присоединен к рычагу 7 с противовесом. Перемещение рычага вниз соответствует перемещению вверх кривошипа, штока и тарелок. Подъем рычага 7 производится тягой 8, присоединенной к автоматическому устройству. При ослаблении тяги рычаг



Фиг. 12-6. Регулирующий питательный клапан.
1—корпус; 2—тарелка; 3—шток; 4—кривошип; 5—валик;
6—головка клапана; 7—рычаг; 8—тяга; 9—груз.
Клапан показан в закрытом положении. Условным
пунктиром показано положение кривошипа, рычага
и груза при открытии клапана.

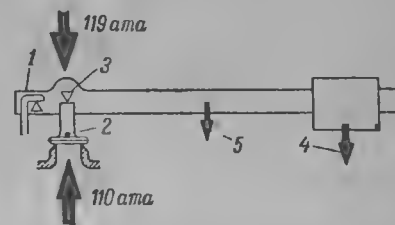
опускается под действием груза 9. Направление движения воды через клапан показано стрелками. При закрытии клапана разгружается уплотнение сальника на выходе валика 5 из головки клапана 6, а также фланцевое уплотнение в соединении головки с корпусом клапана.

При необходимости питательный клапан может быть переключен с автоматического на ручное регулирование.

Редукционный клапан служит для снижения давления пара. Такой клапан ставится, например, на трубопроводе собственных нужд, подающем пар к нефтяным форсункам, обдувочным и другим устройствам. Тарелка клапана прижимается к седлу пружиной или грузом. Натяг пружины или давление на тарелку от груза регулируется таким образом, чтобы пар, пройдя через редукционный клапан, имел необходимое давление.

Предохранительным клапаном называется автоматически действующее устройство для выпуска пара из котла, если по какой-либо причине давление в котле превышает допустимое. Несколько предохранительных клапанов устанавливают на барабане или сухопарнике котла; кроме того, не менее одного клапана имеется на камере перегретого пара.

Предохранительный клапан представляет собой механизм, который действует только в моменты нарушения нормальных условий эксплуатации. Иногда котлы работают весьма длительное время без открытия предохранительных клапанов. Но когда котел находится под давлением, эти клапаны должны непрерывно быть в полной исправности и рабочей готовности. Их заедание или заклипание может при неблагоприятных условиях привести к недопустимому и очень опасному превышению давления пара. По правилам Котлонадзора проверку предохранительных клапанов следует производить продувкой их в сроки, установленные производственной инструкцией.



Фиг. 12-7. Схема действия рычажного предохранительного клапана.

1—точка опоры рычага; 2—тарелка клапана; 3—призма; 4—груз; 5—рычаг.

Кожух одного из предохранительных клапанов на барабане (или на сухопарнике) котла пломбируют. Его открывать можно только в присутствии инспектора Котлонадзора. Клапаны регулируют на открытие при давлении, указанном в § 234 ПТЭ.

По конструкции предохранительные клапаны делятся на рычажные и пружинные. Рассмотрим устройство только рычажных клапанов (фиг. 12-7). Точка опоры 1 находится в конце рычага. Под действием давления пара на тарелку 2, передаваемого призма 3, клапан стремится подняться. Давлению пара противостоит действие веса груза 4 и веса самого рычага 5, прижимающих тарелку клапана 2 к седлу.

При регулировании предохранительных клапанов нужно поддерживать давление пара в барабане котла сначала на 5 или 8%, потом на 3 или 5% больше рабочего. При этом

давлении осторожно передвигают груз клапана вдоль рычага и находят такое положение груза, при котором тарелка клапана начинает подниматься под действием заданного давления пара. В этом положении груз закрепляют и его расположение отмечают рисками на рычаге.

Машинист котла должен так регулировать работу котла, чтобы предохранительные клапаны не открывались даже в момент станционных аварий. Если стрелка манометра перешла красную черту, машинист должен разгрузить или остановить котел, не ожидая, пока сработает автоматическое регулирование горения. При аварийной остановке турбины необходимо сразу быстро прекратить подачу топлива и остановить котел.

Длительное открытие предохранительных клапанов совершенно недопустимо. Струя пара истирает зеркало седла и тарелки клапана, из-за чего плотность клапана уменьшается. Особо быстро нарушается уплотнение предохранительных клапанов котлов высокого давления. При нарушении плотности закрытых клапанов нужно в ближайшее возможное время остановить котел и притереть рабочие поверхности клапана. Нужно учитывать, что, проходя через образующуюся неплотность в клапане струя пара постепенно расширяет свое русло и увеличивает истирание седла и тарелки.

Еще более опасно длительное открытие предохранительных клапанов на ходу котла по другой причине. При открытых клапанах часть пара выходит из котла, минуя пароперегреватель. Соответственно уменьшается количество пара, проходящего через змеевики пароперегревателя, и на каждый килограмм этого пара приходится больше тепла, отдаваемого дымовыми газами. Поэтому при открытии на барабане работающего котла предохранительных клапанов немедленно начинает повышаться температура перегретого пара. Длительное открытие клапанов может привести к ее возрастанию до опасных значений.

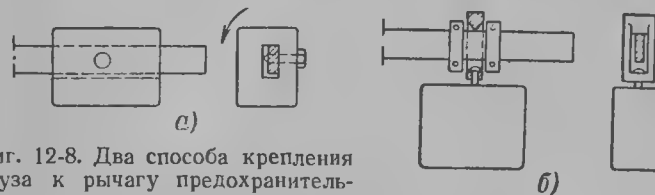
На электростанции высокого давления была аварийно остановлена паровая турбина. Немедленно открылись предохранительные клапаны котла, работавшего при 100 ат. Топочный процесс регулировался вручную. Машинист котла растерялся и вместо того, чтобы немедленно остановить котел, стал запрашивать указания у начальника смены. Из-за этой медлительности температура перегретого пара повысилась с 510°С до примерно 650°С и было повреждено свыше 30 змеевиков второй по ходу пара части пароперегревателя.

Нужно помнить, что сила, с которой тарелка клапана прижимается к седлу, очень невелика. Прижатие тарелки происходит под действием

разности между давлением на клапан сверху и давлением на него снизу.

На котле высокого давления на тарелку рабочего клапана действует сила, соответствующая давлению 119 ат. Давление пара снизу равно 110 ат. Следовательно, тарелка прижата к седлу давлением, равным всего 9 ат. При диаметре тарелки 25 мм сила прижатия равна около 45 кг.

Для того чтобы сравнительно небольшая сила создавала необходимую плотность нажатия, нужно, чтобы эта сила действовала на небольшой поверхности. Поэтому поверхность соприкосновения седла с тарелкой стремятся сделать



Фиг. 12-8. Два способа крепления груза к рычагу предохранительного клапана.

а—одностороннее зажатие груза, при котором возникает усилие, поворачивающее рычаг; б—подвешивание груза на серье.

как можно меньшей. Ошибочным является предположение, что чем больше поверхность соприкосновения, тем лучше может быть уплотнен клапан. Напротив, ширину соприкасающихся поверхностей обычно делают всего от 1,5 до 2 мм.

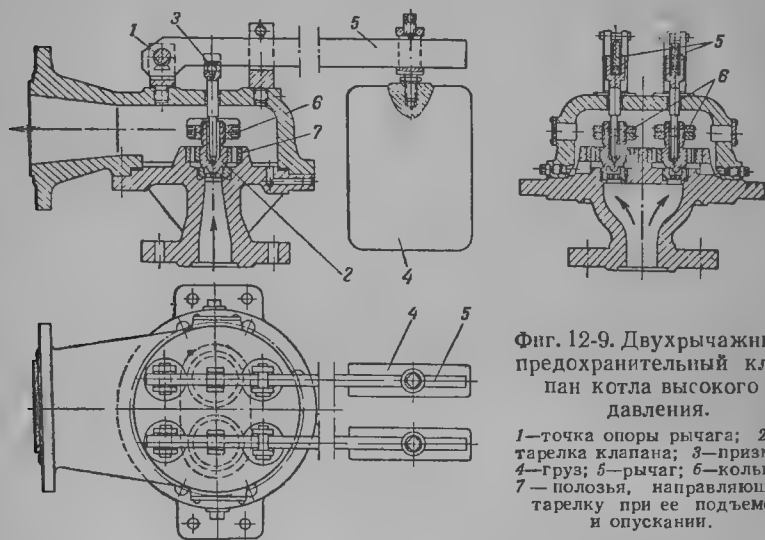
Сравнительно слабое прижатие тарелки к седлу является причиной достаточно легкого нарушения плотности предохранительного клапана. Чтобы обеспечить плотность клапана, нужно устранить перекося, который приводит к неравномерному прижатию тарелки. Рычаг должен быть горизонтальным. Подъем и опускание тарелки должны регулироваться направляющими ползьями, при отсутствии которых работа клапана резко ухудшается. Груз не должен вызывать перекося рычага клапана (фиг. 12-8).

На электростанции высокого давления долгое время не могли добиться плотности предохранительных клапанов. Наконец, обратили внимание на то, что во время текущего ремонта котлов притирка рабочих поверхностей клапана производилась некачественно. Надежность работы клапанов повысилась после приобретения дополнительного комплекта клапанов, которые готовили к установке на место заблаговременно. Притирку и гидравлическое испытание этих клапанов производят в ремонтной мастерской.

Характерной деталью предохранительного клапана являются кольца 6 (фиг. 12-9), в которые направлена снизу

паровая струя. Когда давление пара в котле снижается и тарелка клапана начинает опускаться на седло, эти кольца несколько тормозят ее движение книзу, чем уменьшается удар тарелки о седло.

Иногда, однако, кольца 6 выполняют слишком широкими либо устанавливают их слишком низко. Тогда под действием парового потока, направленного на кольца, предо-



Фиг. 12-9. Двухрычажный предохранительный клапан котла высокого давления.

1—точка опоры рычага; 2—тарелка клапана; 3—призма; 4—груз; 5—рычаг; 6—кольца; 7—полосы, направляющие тарелку при ее подъеме и опускании.

хранительный клапан продолжает оставаться открытым даже тогда, когда давление пара становится ниже рабочего. Такие кольца нужно приподнять либо уменьшить их диаметр.

На многих современных котлах устанавливаются импульсные предохранительные устройства большой производительности.

12-3. ВОДОУКАЗАТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

Водоуказательные приборы, присоединяемые к барабану котла. Водоуказательный прибор, присоединенный непосредственно к барабану котла (фиг. 12-10), состоит из колонки с водоуказательными стеклами для определения уровня воды в барабане, из верхних и нижних отключающих и продувочных вентилей с быстродействующими запорными устройствами и из присоединительных трубок, включенных в паровое и водяное пространство барабана.

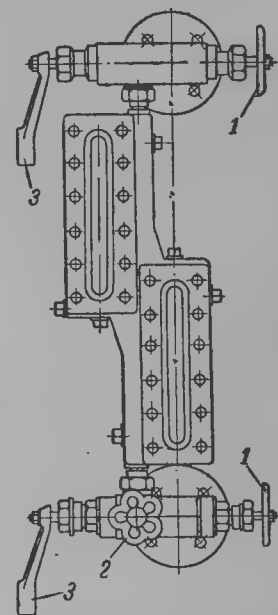
У котлов повышенного давления уровень воды в водоуказательном приборе находится между двумя стеклами, из которых переднее имеет гофрированную поверхность (стекло Клингера), что улучшает видимость уровня. Для котлов высокого давления эти стекла неприменимы, так как они быстро мутнеют и становятся непрозрачными. В водоуказательные колонки котлов высокого давления устанавливают слюду либо специальное стекло. Видимость при этом несколько хуже, чем в колонках со стеклами Клингера, и они также мутнеют, хотя и более медленно.

Каждый котел должен быть снабжен по крайней мере двумя водоуказательными приборами.

На фиг. 12-11 показан горизонтальный разрез по нижним вентилям водоуказательной колонки, предназначенной для котлов повышенного давления. Вода из барабана сообщается с колонкой посредством канала, отмеченного на чертеже условным пунктиром. Доступ воды в колонку можно закрыть как вентилем 2, так и быстродействующим запорным краном 3, который может и не создавать такой плотности, как вентиль 2, но весьма полезен в случае необходимости немедленного отключения колонки. В верхнем конце колонки также имеются вентили 2 и 3, сообщающие колонку с паровым пространством барабана, но продувочный вентилек 5 установлен только с водяной стороны.

Сниженные водоуказательные приборы. Сниженный водоуказательный прибор состоит из верхней части, укрепленной непосредственно на барабане, и нижней части, находящейся вблизи рабочего места машиниста котла.

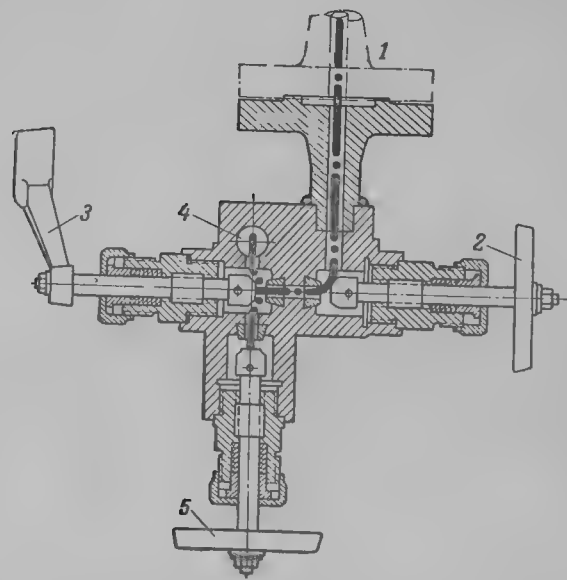
Схема действия сниженного водоуказательного прибора показана на фиг. 12-12. Этот прибор представляет собой кольцевой сосуд, который вверху при открытии вентилей 5 и 6 соединяется с водяным и паровым пространством бара-



Фиг. 12-10. Водоуказательная колонка котла повышенного давления. 1—отключающий вентиль; 2—продувочный вентиль; 3—быстродействующий запорный кран.

бана котла. В нижней части сосуда находится подкрашенная жидкость, более тяжелая, чем вода, и с водой не смешивающаяся.

Пар из барабана через открытый вентиль 6 поступает в конденсационный бачок 7, разделенный перегородкой на две части, к каждой из которых присоединена вертикальная



Фиг. 12-11. Горизонтальный разрез по нижним вентилям водоуказательной колонки котла повышенного давления.

1—присоединительный штуцер к барабану котла; 2—запорный вентиль; 3—быстродействующий запорный кран; 4—канал к водоуказательной колонке; 5—продувочный вентиль. Вся арматура изображена в открытом положении. Движение воды показано условным пунктиром.

трубка. В ближней к барабану котла трубке уровень воды держится на той же высоте, что и в барабане. Пар в конденсационном бачке охлаждается и частично превращается в воду. За перегородкой уровень воды держится постоянным.

Таким образом, давление на подкрашенную тяжелую жидкость различно в левой и в правой части кольцевого сосуда. Справа действует столб воды высотой до переменного уровня в барабане, слева — более высокий столб воды, достигающий до неподвижного уровня. При разном дав-

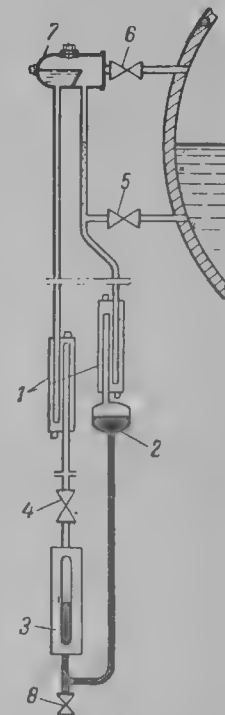
лении сверху уровня тяжелой жидкости находятся на различной высоте. Уровень слева находится ниже уровня справа так, чтобы суммарный вес столба воды и тяжелой жидкости был одинаков в обеих частях сосуда при любом положении уровня воды в барабане.

Сечение сосудов и удельный вес тяжелой жидкости подобраны таким образом, чтобы перемещению уровня воды в барабане соответствовало такое же перемещение уровня тяжелой жидкости в водоуказательной колонке.

Существует несколько рецептов для выбора тяжелой жидкости. Применяют, например, раствор 500 г четырехбромистого углерода в примерно 0,8 л хлороформа. Изменяя количество хлороформа, можно получить раствор требуемого удельного веса. Для сниженных водоуказательных приборов ТКЗ котлов 35—44 ат удельный вес жидкости должен быть равен 1,74 кг/л.

Колонку сниженного водоуказательного прибора нельзя продувать, так как при этом была бы выпущена наружу тяжелая жидкость. Контроль сниженного прибора во время работы заключается в том, что каждую смену сравнивают положение уровня в колонке сниженного водоуказательного прибора с положением уровня в барабане котла (в соответствующем отсеке ступенчатого испарения). Показания сниженного прибора искажаются при пропаривании одного из фланцев, неплотности одного из вентилях, а также при засорении прибора. В случае засорения грязевиков и трубок выпадающими из воды отложениями прибор отключают и осторожно продувают.

Видимость уровня воды. У котлов повышенного давления с гофрированными стеклами в водоуказательных колонках видимость уровня воды иногда ухудшается. Плохая видимость уровня воды объясняется обычно либо недостаточной мощностью искусственного освещения, либо слишком ярким дневным светом, который отражается от наружной поверхности стекла. Если видимость уровня



Фиг. 12-12. Схема сниженного водоуказательного прибора.

1 — грязеуловитель; 2 — расширитель; 3 — сниженная водоуказательная колонка; 4, 5 и 6 — запорные вентили; 7 — конденсационный бачок; 8 — спускной вентиль.

воды ночью лучше, чем днем, то для улучшения видимости целесообразно установить перед колонками затемняющие коробки, которые защищают стекло от бокового дневного освещения. Иногда достаточно замена осветительных ламп на более мощные.

Значительно труднее добиться хорошей видимости уровня воды в водоуказательных колонках котлов высокого давления, особенно при ухудшенном качестве слюды. В таких случаях особенно целесообразно устанавливать сильные электрические лампы за уровнем и затемняющие коробки перед ним. Кроме того, следует рекомендовать избегать слишком частой продувки колонок, поскольку при продувке как слюда, так и специальное стекло становятся менее прозрачными. Их нужно периодически заменять при потускнении.

Перед колонками высокого давления необходимо устанавливать заградительные приспособления, которые иногда выполняют в виде защитной пластинки из плексигласса. Практика, однако, показала малую пользу этих пластинок, которые при разрыве слюды легко перерезаются струей пароводяной смеси, бьющей с очень большой скоростью. Плексигласс дополнительно несколько ухудшает видимость уровня. При наблюдении за уровнем необходимо надевать защитные очки и стоять несколько в стороне от стекла.

Вскоре после пуска в эксплуатацию котла высокого давления разорвалась слюда на одной из колонок. Струя пароводяной смеси, бившая с большой силой и с значительным звуковым эффектом, сразу перерезала щиток из плексигласса и лишь случайно не поразила людей. После этого разрыв слюды не повторялся, но персонал стал бояться смотреть часто на колонки. Кроме того, днем видимость уровня была очень плохая, ибо площадка водосмотра в этой котельной расположена против застекленной стены здания и колонки хорошо освещаются спереди рассеянным дневным светом.

Уровень воды контролировался по показаниям уровнемера почти без проверки по водоуказательным колонкам. Это уменьшило надежность работы котла и, повидимому, явилось основной причиной произошедшей аварии, при которой были повреждены экранные трубы обоих солевых отсеков. По графику регистратора уровень воды при аварии был в пределах допустимого. Однако было установлено, что водосмотр длительное время не проверял правильность показаний уровня воды в барабане по водоуказательной колонке и перед самой аварией не мог найти плохо различимое положение уровня за слюдой. Повидимому, водоуказательный прибор был неисправен.

Тогда перед каждой из водоуказательных колонок был установлен затемняющий короб, к которому прикрепили свободно поворачиваемое зеркало (фиг. 12-13). Этим не только улучшили видимость уровня, но обеспечили безопасность труда водосмотров, которые могли следить за положением уровня, находясь сбоку от колонки.

Небольшая переделка, выполненная силами электростанции и не потребовавшая даже остановки котла, увеличила надежность эксплуатации.

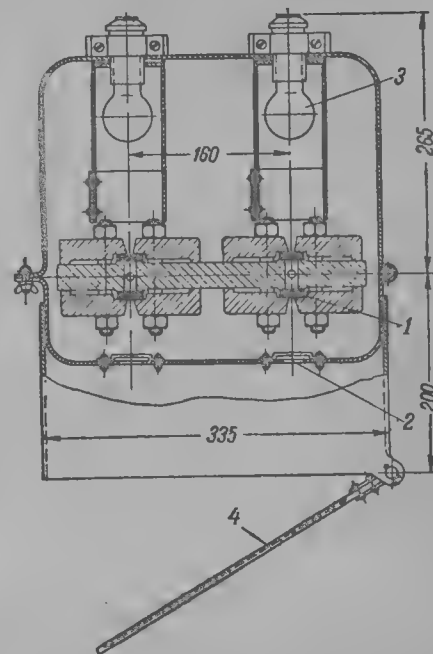
Следует особо подчеркнуть опасность работы котла при плохой видимости уровня воды в водоуказательных колонках, когда водосмотр проверяет положение уровня, приоткрывая дренаж колонки и наблюдая за изменением уровня при его быстром понижении. В этом случае, даже при наличии исправного действующего сниженного указателя уровня, необходимо немедленно сменить потемневшую слюду или стекло.

Искажение показаний водоуказательных приборов. Ниже перечисляются некоторые причины неправильных показаний водоуказательных приборов:

1. Иногда происходит засорение паровой или водяной линии, соединяющей водоуказательную колонку с барабаном. При частичном засорении подводящих линий уровень воды в колонке медленно колеблется; при полном засорении — остается неподвижным.

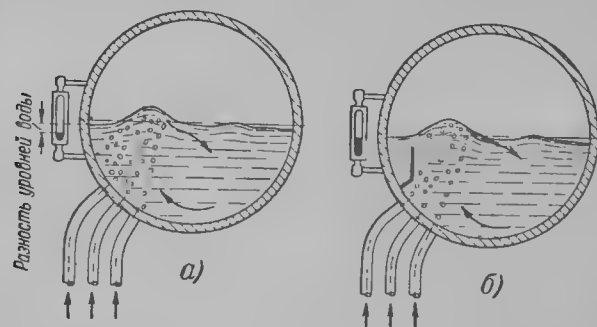
Пар внутри водоуказательной колонки непрерывно конденсируется, поэтому при частичном засорении водяной линии уровень воды за стеклом оказывается выше, чем в барабане.

При полном засорении паровой или водяной линии водоуказательная колонка быстро заполняется водой. Засорение устраняют продувкой колонок, в соответствии с инструкцией.



Фиг. 12-13. Схема установки кожуха с поворотным зеркалом на водоуказательный прибор котла высокого давления. 1—слюда; 2—защитная пластинка из плексигласса; 3—электрическая лампочка; 4—поворотное зеркало.

2. Пропуск арматуры приводит к снижению давления в той зоне, где пар или вода выходят наружу. При пропуске водяной арматуры уровень воды в колонке понижается, при пропуске паровой арматуры повышается. Подтяжка сальников может производиться на ходу котла. При плотных запорных вентилях 2 (фиг. 12-11) допустимо отключение колонки работающего котла и ремонт арматуры 3 и 5. Но иногда ремонт возможен только после остановки котла.



Фиг. 12-14. Схема действия столба пароводяной смеси в барабане на показания водоуказательного прибора. а—без защитного щитка в барабане; б—после установки щитка.

3. Снижение уровня воды в колонке объясняется иногда отсутствием защитного щитка внутри барабана котла. Действие защитного щитка схематически показано на фиг. 12-14. В ближней к колонке (на чертеже — левой) части барабана находится пароводяная смесь, более легкая, чем вода. Это вызывает циркуляцию воды в барабане в направлении, показанном на чертеже стрелками.

Столбик воды в водоуказательной колонке, сопряженный со столбом более легкой пароводяной смеси, может находиться в равновесии только тогда, когда уровень воды ниже уровня смеси. Разность уровней иногда достигает нескольких десятков миллиметров.

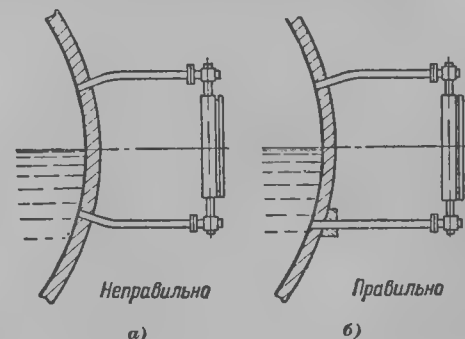
Если пароводяная смесь вводится в барабан вблизи водоуказательного прибора, то внутри барабана устанавливается защитный щиток, схематически изображенный на фиг. 12-14,б.

При первичном пуске в эксплуатацию котла ТП-150-1 было обнаружено, что уровень воды в чистом отсеке ступенчатого испарения был не выше, как обычно, а на 20—30 мм ниже, чем в солевых отсеках. Такое расхождение уровней в однобарабанном котле нельзя было объяснить ни неправильным перетеканием воды между отсеками,

ни другими причинами. К тому же химические анализы показали, что содержание солей в чистом и солевых отсеках было удовлетворительным.

По вскрытии барабана обнаружили, что при монтаже котла ошибочно не был поставлен защитный щиток перед водоуказательной колонкой чистого отсека. После установки щитка показания колонок стали правильными.

4. Неправильные показания водоуказательных колонок иногда объясняются невнимательностью персонала, не полностью открывшего запорные вентили 2 (фиг. 12-11). Иногда персонал не придает должного значения неплотности дренажей 5, из-за чего уровень воды в колонках понижается. В отдельных случаях неисправные показания колонок влекли за собой весьма тяжелые последствия.



Фиг. 12-15. Присоединение водоуказательной колонки к барабану котла.

Штуцеры водоуказательных колонок двухбарабанного котла ТКЗ-120/150 присоединялись к барабану котла так, как это изображено на фиг. 12-15,а. Продувочные линии водоуказательных колонок были полностью забиты. При упуске уровня воды водосмотр, а за ним и старший персонал стали проверять уровень «на подтяжку», т. е. закрыв паровой кран и открыв дренажный вентиль, через который вода не могла вытекать. Вследствие охлаждения водоуказательной колонки давление пара в ней падало и в нее затягивалось небольшое количество воды из изогнутой нижней присоединительной трубки. Из-за этого видимый «на подтяжку» уровень сохранялся, хотя в действительности остались без воды не только верхний барабан, но частично и трубный конвективный пучок. Было сожжено большое число труб.

Хотя такая авария была вызвана редким стечением неблагоприятных обстоятельств, все же после нее котлостроительные заводы Советского Союза стали делать нижние трубки к водоуказательным приборам на всех котлах прямыми, без изгиба (фиг. 12-15,б).

Продувка водоуказательных колонок. Водоуказательные колонки надлежит продувать при всяком сомнении в правильности их показаний, но не реже раза в сутки. Однако слишком частая продувка уменьшает длительность службы стекла и, особенно, слюды.

Уровень воды в водоуказательных колонках должен слегка колебаться. Неподвижный уровень означает, что колонка забита. Ее нужно немедленно продувать.

Продувка водоуказательных колонок производится в такой последовательности:

а) закрывают верхний паровой кран и, открыв спускной вентиль, продувают водяную трубку; б) закрывают водяной кран, открывают паровой кран и продувают паровую трубку и слюду (или стекло); в) закрывают спускной кран и, открыв водяной кран, проверяют быстроту подъема уровня воды в колонке. Медленный подъем уровня свидетельствует о засорении водяной трубки. При этом продувку следует повторить.

ГЛАВА ТРИНАДЦАТАЯ ПИТАНИЕ КОТЛА

13-1. ПИТАТЕЛЬНЫЕ ЛИНИИ

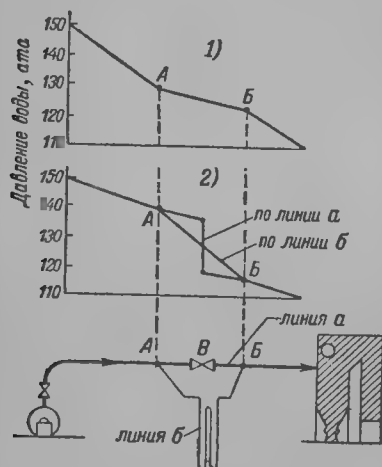
Вода подается питательным насосом под давлением, значительно превышающим давление в котле. Избыток давления затрачивается на пре-

одоление трения при движении воды в трубах и вентиллях.

Чем больше избыток давления, т. е. чем больше давление воды за насосом превышает давление в котле, тем большей становится потеря давления на трение.

При частичном закрытии регулирующего вентиля часть избытка давления теряется на трение в полуприкрытом вентиле, а часть — в остальных трубопроводах. Условия движения воды в питательной линии становятся такими же, как и при полностью открытых вентиллях, но меньшим количеством поступающей в котел воды уменьшается.

На схеме 13-1 показаны условия движения воды в разветвленном трубопроводе. Часть воды течет по линии а, другая часть воды — по линии б. Потеря давления на тре-



Фиг. 13-1. Схема падения давления в питательной линии.

1 — при полностью открытом вентиле В, когда часть воды движется по линии а, а часть воды — по линии б; 2 — то же, что в схеме 1, но при частично при-

крытом вентиле В.

ние в обеих линиях между точками А и В должна быть одинакова. Если линия а — прямая и короткая, а линия б — изогнутая и длинная, то через длинную линию вода пойдет с меньшей скоростью.

Не рассматривая этого вопроса подробно, отметим, что если несколько прикрыть вентиль на линии а, то по этой линии пойдет меньше воды. Увеличится разность давления в точках А и В.

За счет этого несколько возрастет скорость воды в линии б, хотя на ней степень открытия вентилей не изменялась.

Регулировать количество воды, проходящей через трубопровод (например, на пароохладитель), можно путем изменения количества воды, текущей помимо пароохладителя.

Гидравлические удары в питательной линии. Гидравлические удары могут быть вызваны различными причинами. Иногда они происходят при неправильном открытии задвижек в период пуска котла в работу. Если на линии расположено несколько запорных органов, открывать их нужно последовательно, начиная от ближайшего к котлу, так как в этом случае находящийся в трубах воздух беспрепятственно поднимается в барабан. Возможно возникновение гидравлических ударов, если открытие задвижек производить в обратном порядке.

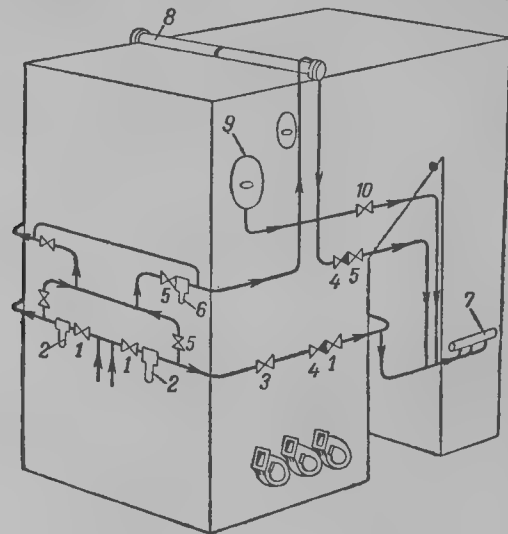
Гидравлические удары в котлах старых типов возникают также, когда питательная вода входит в барабан котла выше зеркала испарения, если температура ее намного ниже температуры кипения. При этом происходит охлаждение пара вблизи места выхода воды в барабан и частичное превращение пара в воду с резким понижением давления в барабане. При недостаточно равномерной подаче воды это приводит к появлению гидравлических ударов в питательной линии.

Для предотвращения таких ударов при низкой температуре поступающей в барабан питательной воды нужно либо подавать воду в водяное пространство барабана, т. е. ниже зеркала испарения, либо вводить питательные трубы в специальные корыта в паровой части барабана.

Вибрация трубопроводов. В начальный период эксплуатации новых котлов иногда возникает вибрация (дрожание или раскачивание) питательных и паровых магистралей, а изредка — водоопускных труб экранов и других трубопроводов. Появление по какой-либо причине такой вибрации элементов котла представляет чрезвычайно большую

опасность. Постепенное увеличение колебаний может привести к разрушению находящегося под давлением оборудования.

При появлении вибрации трубопроводов нужно немедленно заклинить раскачивающийся участок имеющимися в наличии временными подкладками, а затем укрепить его дополнительными опорами или пружинными подвесками.



Фиг. 13-2. Упрощенная схема питательных линий котла высокого давления ТКЗ.

1 — запорная задвижка; 2 — регулятор питания; 3 — вентиль регулировочный; 4 — обратный клапан; 5 — вентиль запорный на линии к парохладителю; 6 — регулирующий клапан парохладителя; 7 — нижняя камера экономайзера; 8 — камера поверхностного парохладителя; 9 — барабан котла; 10 — вентиль запорный на линии рециркуляции воды из барабана в нижнюю камеру экономайзера.

Если по каким-либо причинам подкладки сразу нельзя установить, а вибрация увеличивается, необходимо аварийно остановить котельный агрегат. Последующий пуск котла в работу можно допустить лишь после устранения причин, вызывающих возникновение вибрации.

Примеры поломки сооружений от непрерывного возрастания колебаний известны во многих областях техники. Уместно, например, напомнить случаи разрушения мостов при прохождении через них войск в ногу.

Типовые схемы питательных магистралей. На фиг. 13-2 в несколько упрощенном виде показана в качестве примера

схема питательных магистралей котла высокого давления ТКЗ. Питательная вода подается из двух магистралей в кольцевой трубопровод, опоясывающий топочную камеру. На этом трубопроводе вварена основная арматура — задвижки, вентили и клапаны 1, 2, 3 и 4. Из кольцевого трубопровода вода направляется к нижним камерам экономайзера.

Питательная арматура установлена симметрично на левой и правой линиях питательного трубопровода. В случае временного выхода из строя одной линии (например, из-за заедания или заклинивания задвижки, или закрытия обратного клапана) котел может работать с полной нагрузкой при подаче всей воды по другой линии.

В каждой из линий питательного трубопровода первой по ходу воды устанавливается запорная задвижка 1. За ней расположен клапан автоматического регулятора питания 2, допускающий и ручное управление. Следующий регулирующий вентиль (либо клапан) 3 служит в основном для изменения количества воды, отводимой к парохладителю. Прикрывая клапан 3, уменьшают подачу воды по основной питательной магистрали, вынуждая питательную воду совершить более длинный путь через парохладитель.

Далее по ходу воды находится обратный клапан 4, препятствующий вытеканию воды из котла в случае аварийного снижения давления в питательной магистрали. Последней по ходу воды стоит вторая запорная задвижка 1. Наличие на линии двух расположенных последовательно задвижек 1 позволяет в случае неплотности одной из них, а также в случае выбивания воды из какого-либо клапана между этими задвижками отключить поврежденный участок трубопровода без остановки котла.

Вода к парохладителю отводится от каждой из обеих линий питательного трубопровода за регулирующими клапанами 2 (фиг. 13-2). Пройдя запорные вентили 5, вода поступает в кольцевой трубопровод, на котором находится регулирующий клапан парохладителя 6. Грубое регулирование парохладителя при изменении топочного режима или нагрузки котла производится клапанами 3. Клапаны 6 служат для подрегулирования при незначительных изменениях условий работы.

На каждом из трубопроводов от парохладителя к питательной магистрали находится обратный клапан. В случае аварийного снижения давления воды в питательной линии вода не может уйти из котла, двигаясь в обратном направлении через парохладитель.

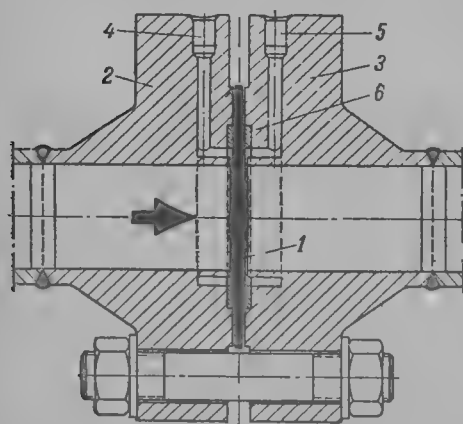
ПРИБОРЫ КОНТРОЛЯ РАБОТЫ КОТЛА

Ниже рассмотрены основные принципы работы наиболее распространенных конструкций контрольно-измерительных приборов, устанавливаемых в котельной.

14-1. ИЗМЕРЕНИЕ РАСХОДА

Количество воды или пара, проходящего по трубе, измеряют обычно посредством измерительной диафрагмы, одна из конструкций которой изображена на фиг. 14-1.

Принципиальная схема действия паромера показана на фиг. 14-2. От диафрагмы 1 на трубопроводе отводятся



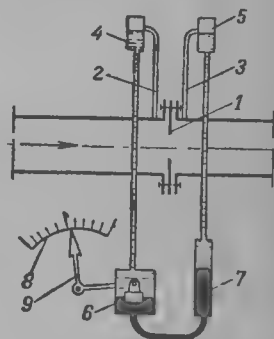
Фиг. 14-1. Схема установки измерительной диафрагмы на трубопроводе.

Стрелка показывает направление движения жидкости.

1—диафрагма; 2 и 3—фланцы; 4 и 5—штуцеры, к которым присоединяют трубки, идущие к расходомеру; 6—уплотнительная прокладка.

вращается в воду, излишек которой стекает по трубкам 2 и 3. Оба конденсационных сосуда должны устанавливаться на одинаковой высоте.

При движении пара через диафрагму 1 возникает разность давлений, из-за чего уровень ртути в сосудах 6 и 7 будет находиться на различной высоте. Чем быстрее движется пар через диафрагму, тем ниже опускается поплавков в сосуде 6. На схеме показано, что этот поплавок со-



Фиг. 14-2. Схема измерения расхода пара.

1—диафрагма в паропроводе; 2 и 3—отводящие трубки; 4 и 5—конденсационные сосуды; 6 и 7—сосуды с ртутью; 8—циферблат; 9—стрелка.

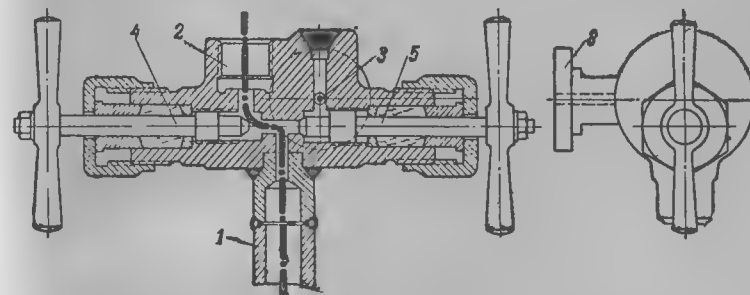
трубки 2 и 3. В конденсационных сосудах 4 и 5 пар прев-

единен рычажком со стрелкой 9, перемещающейся по шкале 8. Более широкое распространение получили приборы с электрической передачей показаний на расстояние.

Показания паромера, измеряющего количество отдаваемого котлом пара, должно соответствовать показаниям водомера или суммарным показаниям двух водомеров, установленных на питательных линиях. Нужно, однако, учитывать, что паромер дает искаженные показания, если температура или давление пара отличаются от расчетных.

14-2. ИЗМЕРЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ

У котлов большой производительности должно быть установлено не менее двух манометров, измеряющих давление пара в барабане. Один манометр находится непосредственно на барабане, другой — у рабочего места машиниста котла. Нижний манометр показывает несколько более



Фиг. 14-3. Вентиль к манометру.

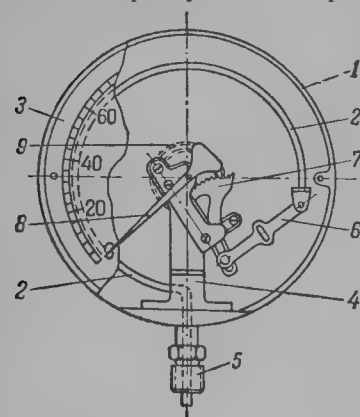
Условным пунктиром показан путь воды при рабочем положении манометра. 1—позволяет воды от трубки, присоединенной к барабану котла; 2—нарезка для рабочего манометра; 3—штуцер для продувки и для присоединения контрольного манометра; 4—вентиль к рабочему манометру; 5—вентиль для продувки.

высокое давление, так как он испытывает дополнительное давление столба воды в трубе, составляющее у котлов большой производительности около 2 ат. На шкале манометра должна быть нанесена красная черта, соответствующая установленному рабочему давлению.

Манометр присоединяют к барабану котла отдельной трубкой, образующей перед прибором петлю. Трубку не изолируют и пар в ней быстро превращается в воду. Во избежание отложения шлама трубку периодически продувают. Всю воду из трубки удалять нельзя, так как при со-

прикосновении с паром манометр нагревается и может выйти из строя.

Для включения и продувки манометра служит особый двойной вентиль, изображенный в разрезе на фиг. 14-3. На чертеже он показан в рабочем положении. Вода из трубки 1 мимо открытого вентиля 4 действует на манометр, ввинченный в нарезку 2. Для продувки манометра закрывают вентиль 4 и открывают вентиль 5.



Фиг. 14-4. Манометр с трубчатой пружиной.

1—корпус; 2—трубчатая пружина; 3—циферблат; 4—держатель; 5—ниппель; 6—поводок (тяга); 7—зубчатый сектор; 8—стрелка; 9—пружинка.

Струя воды выходит через отверстия в штуцере 3. Манометр необходимо устанавливать также и за пароперегревателем. Наибольшее распространение получили манометры с трубчатой пружиной (фиг. 14-4). Главным их элементом является изогнутая трубчатая пружина 2 овального сечения, один конец которой закреплен в держателе 4, а другой конец запаян и может свободно перемещаться. Ниппель 5 заворачивается в изображенную на фиг. 14-3 резьбу 2 и соединяет трубчатую пружину с паровым пространством барабана котла. Внутреннее давление стремится выпрямить овальную трубку. При этом свободный запаивный конец трубчатой пружины перемещается и через поводок 6 поворачивает зубчатый сектор 7, а за ним и показывающую на чертеже шестеренку, с которой соединена стрелка 8. Пружинка 9 прижимает друг к другу детали манометра и уничтожает зазоры между ними. Этим увеличивается четкость действия прибора.

Для давления до 50 ат манометры имеют латунную трубчатую пружину. Для более высокого давления изготовляют стальные пружины. Манометр работает более точно и более длительное время, если при рабочем давлении его пружина растянута не полностью и указывающий конец стрелки находится в верхней части шкалы.

Неполадки при пользовании манометрами чаще всего заключаются в искажении их показаний вследствие порчи или засорения внутреннего устройства. Необходимо перио-

дически сверять манометры с контрольным прибором. Проверку, как правило, производят в тепловой лаборатории, которую нужно ставить в известность всякий раз, когда возникает сомнение в правильности показаний.

При вынужденных обстоятельствах (например, при отсутствии исправных запасных манометров) проверку производят, присоединяя контрольный прибор к штуцеру 3 (фиг. 14-3). Тогда должны быть открыты оба вентиля 4 и 5.

Иногда заниженные показания манометра объясняются появлением неплотности в соединении манометра с переключающим вентилем, пропуском в самом вентиле или в месте включения трубки в барабан котла. Недопустима даже ничтожная неплотность.

Показания могут значительно искажаться при замерзании воды в трубке.

Всякий раз, когда возникает сомнение в правильности показаний манометра, нужно прежде всего сверить между собой показания верхнего и нижнего приборов, а также узнать давление пара на других котлах. Без такой проверки можно прийти к явно неверным выводам.

По показаниям нижнего манометра у одного из котлов стало повышаться давление пара. Снижение нагрузки не помогло. Персонал должен был запросить водосмотра о показаниях верхнего прибора, но это не было сделано. Стрелка нижнего манометра перешла красную черту и продолжала перемещаться вправо даже после полной остановки котла. На других котлах давление не повышалось, предохранительные клапаны не открывались.

Растерявшийся персонал не знал, что предпринять. Кто-то высказал маловероятное предположение, что якобы упала тарелка главной парозапорной задвижки и открыла выход пара из котла. Давление вместо 34 ат доходило до 50 ат. Внезапно стрелка манометра быстро пошла влево и стала на нуле.

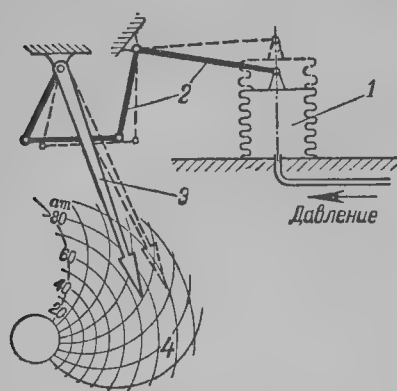
Оказалось, что подводящая трубка к нижнему манометру проходила через помещение топливоподачи. В сильный мороз вода в трубке замерзла и лед, расширяясь, создал большое давление на прибор. Когда трубка разорвалась, давление упало.

Остановки котла можно было избежать, если бы персонал сразу сверил показания верхнего и нижнего приборов.

На фиг. 14-5 изображена схема самопишущего манометра. Основным элементом здесь является тонкостенная гофрированная трубка (сильфон) 1. Внутренняя полость сильфона соединяется с барабаном котла. Под действием внутреннего давления сильфон удлиняется и поворачивает рычажки 2, соединенные со стрелкой (пером), конец которого чертит линию на диаграмме 4.

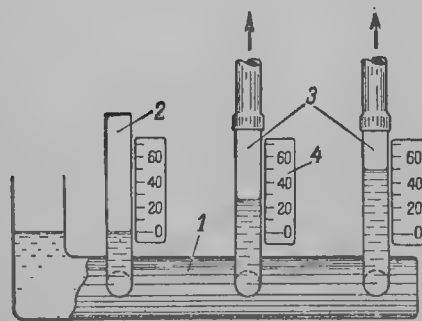
Измерение давления и разрежения в газозовдухопроводах. Простейшим прибором для измерения разрежения

(тягомером) является изогнутая стеклянная трубка (фиг. 14-6), один конец которой открыт, а другой соединен с газоходом или воздухопроводом котла. Если несколько таких трубок монтируют на тепловом щите котла, то их открытые



Фиг. 14-5. Схема самопишущего манометра.

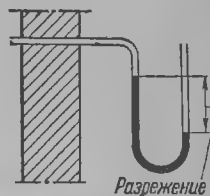
Пунктиром показано положение стрелки при повышении давления в котле. 1—гофрированная трубка (сильфон); 2—система рычагов; 3—перо; 4—диаграмма.



Фиг. 14-7. Схема группового тягомера (расстояние между тягомерами увеличено).

1—широкий сосуд; 2—контрольная открытая трубка; 3—тягомеры; 4—шкала с делениями.

Мембранные тягомеры получили значительное распространение. Мембрана 3 (фиг. 14-8) представляет собой



Фиг. 14-6. Схема измерения разрежения и давления газов и воздуха.

концы обычно объединяют в одном широком сосуде (фиг. 14-7). Уровень воды в этом сосуде почти не изменяется при изменении уровня в трубках.

Более сложны конструкции тягомеров, соединенных с указывающими стрелками на тепловом щите или с регистрирующими приборами. Главным их элементом обычно является мембрана, которая связана рычажками со стрелкой тягомера или с самопишущим пером.

Мембранные тягомеры получили значительное распространение. Мембрана 3 (фиг. 14-8) представляет собой

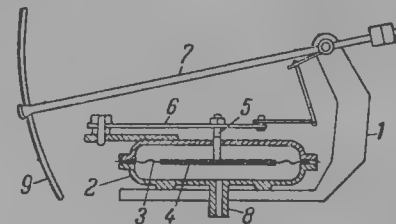
плоскую или гофрированную пружину, находящуюся внутри коробки 2 и разделяющую эту коробку на две изолированные части. Одна полость коробки соединена с местом измерения, другая полость сообщается с атмосферой. Если давление в обеих полостях коробки различно, мембрана прогибается, передвигая прикрепленный к ней передаточный механизм и поворачивая стрелку 7 вдоль градуированной шкалы 9.

При работе тягомеров возможны различные неполадки, вызывающие неправильные показания, что может значительно усложнить эксплуатацию котла. К числу неполадок относятся следующие:

1. Как и у других приборов, возможно искажение показаний при засорении тягомера, забивании подводящих трубок и т. п.

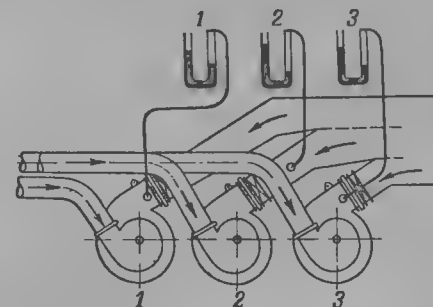
2. Показания искажаются, если в самом тягомере или в соединительных трубках имеются неплотности.

3. Наиболее трудно оценить искажение показаний, если разрежение или давление измеряется непосредственно за вентилятором, либо на резких поворотах и в других местах, где газовый или воздушный поток сильно завихрен. В таких местах несколько тягомеров, установленных по сечению жороба, дают различные показания. Обычно меньшее давление и большее разрежение наблюдаются в местах с большей скоростью потока.



Фиг. 14-8. Схема мембранного тягомера.

1—рама; 2—коробка; 3—мембрана; 4—крепление средней части мембраны; 5 и 6—передаточный механизм; 7—стрелка; 8—трубка, соединенная с местом измерения; 9—шкала.



Фиг. 14-9. Схема подвода воздуха к горелкам.

Показания тягомеров, измеряющих давление вторичного воздуха перед пылеугольными горелками, различны.

На фиг. 14-9 изображен подвод вторичного воздуха к трем турбулентным пылеугольным горелкам. Перед улиткой 1 имеется длинный

прямой короб, перед улиткой 3 — короткий прямой участок. Завихрение воздуха на входе в улитки 1 и 3 различно и оценивать подачу воздуха в горелки по его давлению можно только очень приблизительно. Измерительные трубки могут стоять совершенно одинаково, тягомеры могут давать одинаковые показания, и все же подача воздуха к горелкам будет различной.

4. Большие недоразумения получаются при неправильном включении концов присоединительных трубок в газопровод.

На фиг. 14-9 показано, что тягомеры горелок 1 и 3 включены за шибером, а у горелки 2 — до шибера. При одинаковом частичном открытии всех трех шиберов будет наблюдаться дополнительное расхождение показаний тягомеров: давление перед горелками 1 и 3 будет уменьшаться, а перед горелкой 2 — увеличиваться.

Присоединительный штуцер тягомера у горелки 2 должен, конечно, быть переставлен.

При наладке топочного режима машинист котла никогда не должен довольствоваться такой регулировкой подачи воздуха, при которой тягомеры всех горелок дают одинаковые показания. Он должен отрегулировать каждую горелку отдельно и найти для нее оптимальные условия работы, которым может соответствовать иное, чем у других горелок, давление первичного и вторичного воздуха.

Регулирование подачи воздуха на каждую горелку является одним из мероприятий, какими машинист котла может добиться более высокой экономии топлива.

5. Рассмотрим более подробно условия движения газов в топочной камере. Предположим, что дутье и тяга регулируются таким образом, что в верхней части топки давление в точности равно атмосферному (давление и разрежение равны нулю). Если бы давление совершенно не колебалось, то вверх топки при открытии люка не было бы ни подсоса воздуха внутрь, ни выбивания газов наружу. В нижней части топки при этом наблюдается разрежение до 15—20 мм вод. ст. Легко убедиться, что чем ниже находится лючок в стене топочной камеры, тем сильнее засасывается через него наружный воздух. Таким образом, в топке котла можно видеть странное на первый взгляд явление: наблюдателю кажется, будто газы движутся от места с большим разрежением к месту с меньшим разрежением.

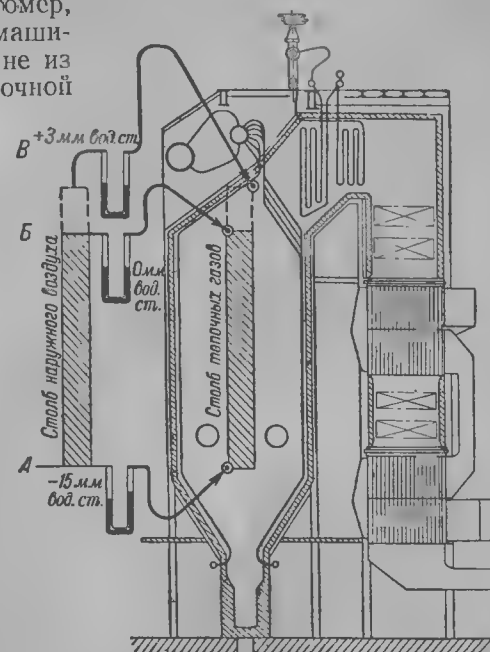
Для объяснения этого нужно прежде всего учесть, что течение газов о стены топочной камеры практически ничтожно. Действующие закономерности легче понять, пользуясь

схемой фиг. 14-10, на которой из объема наружного воздуха и из объема топочных газов условно выделены два одинаковых газовых столба. Давление сверху обоих столбов совершенно одинаково, оба уровня воды стоят в трубке В на одной высоте. Внизу же давление различно, поскольку вес столба холодного воздуха в несколько раз превышает вес столба горячих топочных газов. Поэтому внизу топки давление снаружи больше, чем внутри ее, иными словами, низ топки находится под разрежением.

Ошибка глазомерного вывода о том, что «топочные газы движутся от большего разрежения к меньшему», вызывается тем, что, открывая лючок, мы лишь сравниваем давление газов с давлением наружного воздуха, а не измеряем абсолютное давление топочных газов, которое внизу больше, чем сверху.

Дутье и тягу надо регулировать таким образом, чтобы разрежение сверху топки было по возможности меньшим. Его рекомендуют поддерживать около 2 мм вод. ст.

У некоторых котлов газы выбивают из топки наружу и при большем разрежении по тягомеру. Обычно это объясняется тем, что тягомер, которым пользуется машинист котла, отведен не из верхней точки топочной



Фиг. 14-10. Схема измерения разрежения в разных местах топки котла.

Изображены U-образные тягомеры, соединяющие выделенный воображаемыми линиями столб наружного воздуха (слева) и столб топочных газов той же высоты, но меньшего удельного веса. Тяга котла отрегулирована так, чтобы средний по высоте тягомер показывал 0 мм вод. ст.

камеры. На фиг. 14-10 схематически показано, как тягомер *Б* показывает 0 мм вод. ст., а находящийся над ним тягомер *В* — давление 3 мм вод. ст.

Выбивание газов прекращается, если поддерживать видимое по прибору разрежение равным не 2 мм вод. ст., а более высоким. Если же хотят, чтобы прибор показывал разрежение 2 мм вод. ст., то нужно перенести выше место включения тягомера в топку.

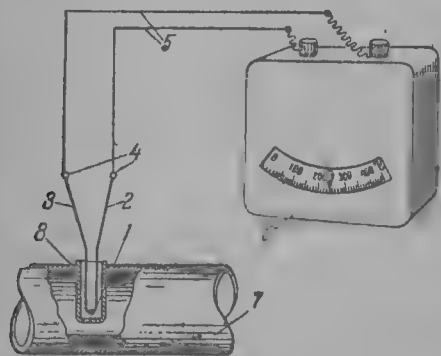
14-3. ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ

Температуру до 550° С можно измерять ртутными термометрами, для которых имеются специальные гильзы в коллекторах пароперегревателей и экономайзеров. Ртутными термометрами пользуются только для проверки показаний постоянно действующих приборов. Объясняется это тем,

что показания такого термометра трудно передать от места измерения к тепловому щиту машиниста котла.

Обычно применяют термоэлектрические пирометры, называемые также термопарами. Действие термопары основано на том, что спай двух различных металлов или сплавов при нагревании может стать источником слабого электрического тока.

На фиг. 14-11 показана схема термопары из спая 1, двух проводов 2 и 3, изготовленных из раз-



Фиг. 14-11. Схема действия термопары.

1—спай термопары; 2 и 3—разнородные провода, составляющие термопару; 4—холодный спай; 5—провода от термопары; 6—гальванометр; 7—труба, в которой измеряют температуру; 8—штуцер.

личных металлов или сплавов, проводов 5 и замыкающего электрическую цепь гальванометра 6. При возникновении тока стрелка гальванометра отклоняется.

Сила тока, возникающего на спае 1, почти пропорциональна температуре этого спае. Термопары и гальванометры подбирают таким образом, чтобы стрелка гальванометра показывала непосредственно измеряемую температуру.

К проводам 2 и 3 в точке 4 присоединены обычные медные провода. Но спай 4 также создает термоэлектрический ток, действие которого противоположно действию основного спае 1.

Например, гальванометр показывает температуру 250° С. Температура холодного спае равна 40° С. Действительная температура измеряемого тела составляет $250 + 40 = 290^\circ \text{С}$.

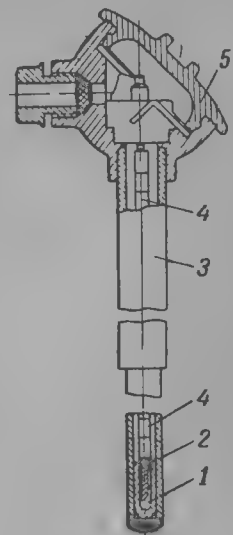
Поправку на холодный спай обычно учитывают при настройке прибора, и в производственных условиях, как правило, можно пользоваться непосредственно показаниями гальванометра. Но наличие холодных спаев усложняет пользование термопарами, поскольку температура наружных их концов не остается постоянной и колеблется вместе с температурой помещения котельной.

Кроме температуры холодного спае, на показания гальванометра влияет температура соединительных линий и температура самого гальванометра. Поэтому, время от времени тепловая лаборатория электростанции проверяет правильность действия термопар.

На фиг. 14-12 показана схема термопары, спай которой вставлен в штуцер 8; термопара предназначена для измерения температуры воды и пара, проходящих по трубе. Штуцер должен быть либо закрыт сверху крышкой, либо залит какой-либо жидкостью. В противном случае термопара будет давать заниженные показания.

При измерении температуры дымовых газов или горячего воздуха спай термопары находится внутри газохода или воздуховода. Его обычно помещают в чехол (фиг. 14-12), который нагревается до температуры среды. Показания термопары могут быть значительно искажены, если конец чехла близок от охлаждающей или нагревающей его поверхности.

У котла высокого давления показания приборов сверили с расчетными характеристиками. Оказалось, что температура дымовых газов



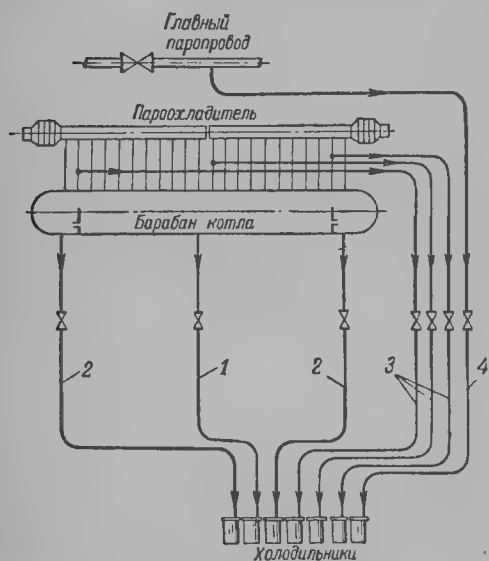
Фиг. 14-12. Термопара в чехле для измерения температуры дымовых газов и воздуха.

1 — жароупорный наконечник; 2 — жароупорный наконечник; 3 — чехол; 4 — фарфоровые изоляторы; 5 — головка термопары, находящаяся снаружи газохода.

в различных газоходах была близка к расчетному значению. Расхождение не превышало 30–40° С. Но температура газов за пароперегревателем с правой стороны котла согласно показанию прибора была равна около 500° С, в то время как по расчету она составляла 655° С. При проверке оказалось, что конец чехла термомпары почти прикасался к змеевику пароперегревателя и охлаждался им.

14.4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАЧЕСТВА ВОДЫ И ПАРА

На фиг. 14-13 показана примерная схема отбора пробы воды и пара из котла. Для более точного определения изменения качества воды и пара имеется возможность одно-

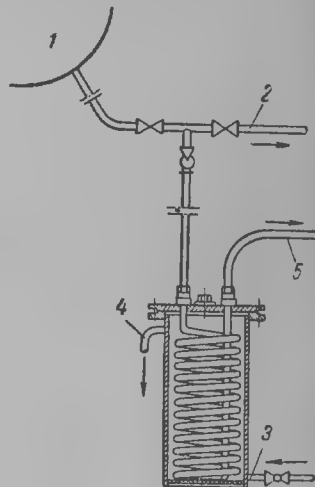


Фиг. 14-13. Схема установки для отбора проб воды и пара.

1—линия отбора пробы воды из чистого отсека барабана (при ступенчатом испарении); 2—то же из соленого отсека; 3—линия отбора пробы насыщенного пара; 4—то же перегретого пара.

временного отбора проб из нескольких точек. Пробы котловой воды отбираются из барабана, а насыщенного и перегретого пара из вертикальных участков труб над коллекторами.

Вода и пар отводятся к холодильникам, одна из конструкций которых изображена на фиг. 14-14. Охлажденная вода и превращенный в воду пар должны вытекать из холо-



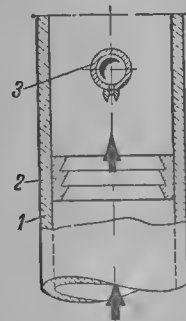
Фиг. 14-14. Схема установки холодильника для контроля качества котловой воды из соленого отсека ступенчатого испарения.

1—барабан котла; 2—линия непрерывной продувки; 3—вход охлаждающей воды в холодильник; 4—выход охлаждающей воды из холодильника; 5—выход в дренаж охлажденной котловой воды.

дильников непрерывно, в противном случае возможно искажение результатов отбираемых проб из-за коррозии трубок.

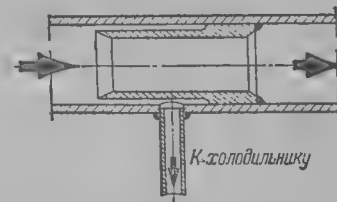
Солесодержание насыщенного и перегретого пара определяют при помощи непрерывно действующих солемеров. Проверку солемеров производят, отбирая пробы через холодильники.

В насыщенном паре большая часть солей растворена в мельчайших капельках воды, которые не распределены по



Фиг. 14-15. Устройство для отбора пробы насыщенного пара.

1—вертикальный участок трубы; 2—завихряющее кольцо; 3—парозаборный зонд.



Фиг. 14-16. Устройство для отбора обогащенной пробы насыщенного пара.

всему сечению трубы, а движутся главным образом у стенок. Это усложняет условия отбора проб: пар, отведенный из средней части трубы, может не содержать солей, а у стенок трубы эти соли могут проходить в большом количестве.

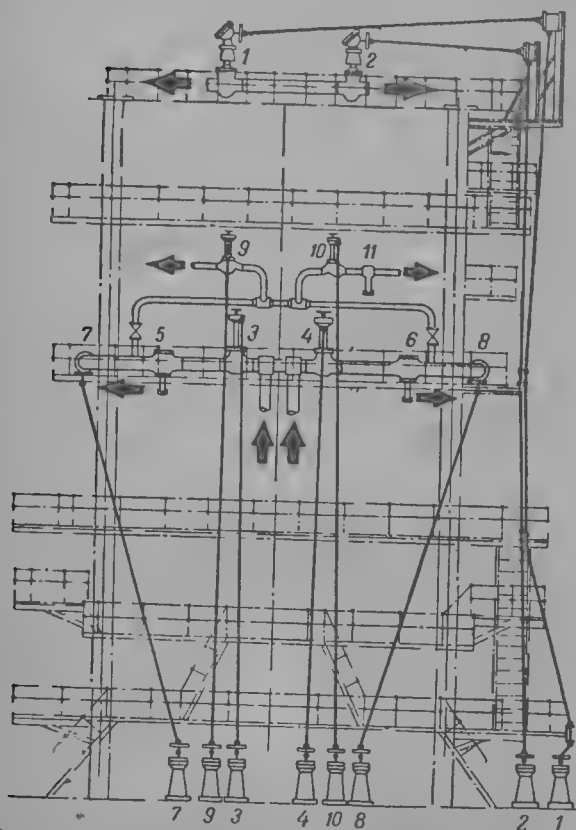
Существуют два основных способа отбора проб пара для анализа. На фиг. 14-15 показана насадка ОРПРЭС, в которой текущий в трубе пар завихряется. На небольшом участке за завихрителем капли воды несутся по всему сечению трубы и проба, отобранная через трубку 3, имеет содержание солей, близкое к действительному.

На фиг. 14-16 изображена насадка ЦКТИ. В ней к холодильнику поступает только пар от стенок трубы, т. е. обогащенный влагой. Отобранная проба не может характеризовать количество солей в паре, но по ней солемер более четко показывает изменение влажности пара при чрезмерном повышении уровня воды в барабане, вспенивании воды и других неполадках. Тогда регистратор солемера чертит на бумаге сильно колеблющуюся линию.

ГЛАВА ПЯТНАДЦАТАЯ ДИСТАНЦИОННОЕ УПРАВЛЕНИЕ И АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ПАРОВОГО КОТЛА 15-1. ДИСТАНЦИОННОЕ УПРАВЛЕНИЕ

Дистанционным управлением арматурой называется управление вентилями, задвижками или клапанами на расстоянии. Такое управление может быть ручное или электрическое.

На фиг. 15-1 показан пример схемы ручного дистанционного управления арматурой котла высокого давления. Из схемы видно, что к рабочему месту машиниста котла



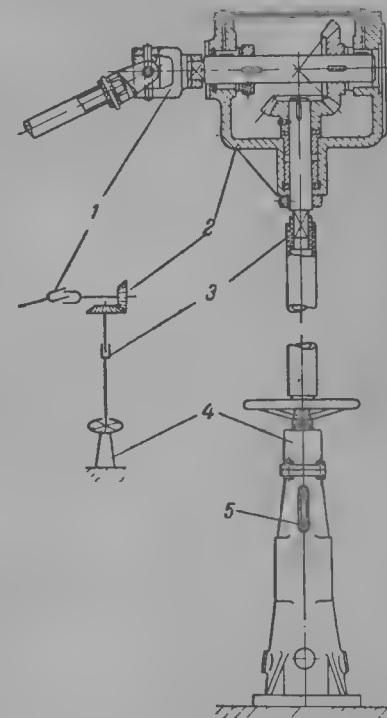
Фиг. 15-1. Схема дистанционного управления арматурой котла высокого давления с площадкой машиниста котла.

1 и 2—главные парозапорные задвижки; 3 и 4—запорные питательные задвижки; 5 и 6—клапаны, регулирующие питание котла водой; 7 и 8—вентили или клапаны, изменяющие подачу воды через парохладитель; 9 и 10—вентили запорные на линии подачи воды к парохладителю; 11—регулирующий клапан на линии к парохладителю. Цифры у штурвала дистанционного управления соответствуют цифрам у арматуры.

подведено управление главными парозапорными задвижками (на схеме их две), питательными задвижками и задвижками, регулирующими подачу воды к парохладителю.

На фиг. 15-2 показаны характерные детали ручного дистанционного управления. Шарнир 1 служит для изменения направления вала на небольшой угол. При величине угла между валами больше 30° шарнир работает плохо. Коробка 2 с двумя коническими шестернями изменяет направление вала на угол 90° . Квадрат 3 воспринимает температурное удлинение длинного вала. Внизу показана колонка 4 со штурвалом ручного управления. Указатель 5 на колонке дает возможность судить о степени открытия или закрытия арматуры.

Слева на фиг. 15-2 показана схема рассматриваемых элементов управления.



Фиг. 15-2. Характерные детали дистанционного управления арматурой котла.

1—шарнир; 2—коробка; 3—квадрат; 4—колонка с штурвалом; 5—указатель открытия.

При первичном пуске в эксплуатацию нового котла обнаружилось, что для закрытия главной паровой задвижки нужно было вращать штурвал колонки дистанционного управления против часовой стрелки, т. е. в направлении, противоположном требуемому. Возникло опасение, что когда-нибудь в аварийной обстановке машинист котла вместо закрытия задвижки будет пытаться открыть ее еще больше. Некоторые работники, не знавшие конструкции дистанционного управления, предлагали сложную схему его изменения. Между тем вся переделка заключалась в том, что в коробке 2 (фиг. 15-2) поменяли местами шестерню и упор на горизонтальной оси, т. е. так, чтобы шестерня стояла не справа, а слева (если смотреть на чертеж).

Неполадки в работе дистанционного управления большей частью объясняются плохой и несвоевременной смаз-

кой, перекосами и заеданием вращающихся деталей, происходящими в большинстве случаев из-за нетщательной сборки оборудования.

15-2. АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ КОТЛА

Автоматическое устройство, регулирующее подачу в котел воды и топлива, температуру перегретого пара и производительность дымососов и дутьевых вентиляторов, устанавливают не только для облегчения труда вахтенного персонала. Опыт, например, показал, что при правильно отрегулированных автоматах можно добиться меньшего колебания уровня воды в барабане, чем при работе наиболее опытного водосмотра. При работе автоматов удается добиться и меньшего колебания давления пара, что в свою очередь позволяет уменьшить колебание температуры перегретого пара. Еще большее значение имеет то обстоятельство, что при изменении нагрузки котла подача в топку воздуха непрерывно изменяется автоматическими устройствами соответственно изменениям подачи топлива. При этом коэффициент избытка воздуха в дымовых газах изменяется незначительно, чего очень трудно добиться при регулировании работы топки вручную. Таким образом, при автоматическом регулировании процесса горения повышается экономичность котельного агрегата.

Ниже рассмотрены некоторые характерные схемы и способы включения автоматических устройств котельного агрегата. Более подробные сведения об автоматике котельных агрегатов изложены в специальных руководствах¹.

Автоматическое регулирование горения. На фиг. 15-3 показана упрощенная схема автоматического регулирования процесса горения в топке пылеугольного котла при наличии промежуточного бункера пыли. Котел снабжен устройствами:

- а) для управления подачей в топку угольной пыли (регулятор давления пара);
- б) для управления подачей в топку воздуха (регулятор экономичности);
- в) для управления тягой (регулятор разрежения).

¹ С. Д. Кучкин и П. Н. Мандуилов, Автоматическое регулирование тепловых процессов на электростанциях, ГЭИ, 1950.

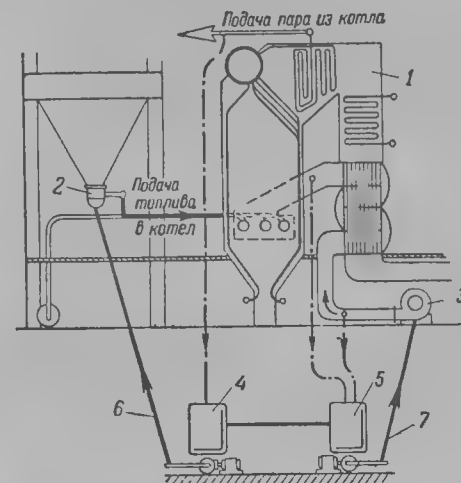
Сборник «Автоматическое регулирование тепловых процессов на электростанциях» под редакцией Б. И. Дуба, ГЭИ, 1952.

Регулятор давления пара (фиг. 15-3) соединен с главным паропроводом котла. Изменение давления пара воспринимается механизмами внутри колонки 4. Соответственно изменяется подача угольной пыли в топку.

Регулирование подачи воздуха в топочную камеру осуществляется колонкой 5. Положение механизма внутри этой колонки может изменяться под влиянием двух причин. Во-первых, они начинают работать совместно с колонкой 4

Фиг. 15-3. Упрощенная схема автоматического регулирования процесса горения в пылеугольном котле с промежуточным бункером.

1—котел; 2—питатель пыли; 3—дутьевой вентилятор; 4—колонка регулирования давления; 5—колонка регулирования воздуха; 6—привод от колонки 4 к питателям пыли; 7—привод от колонки 5 к дутьевым вентиляторам.



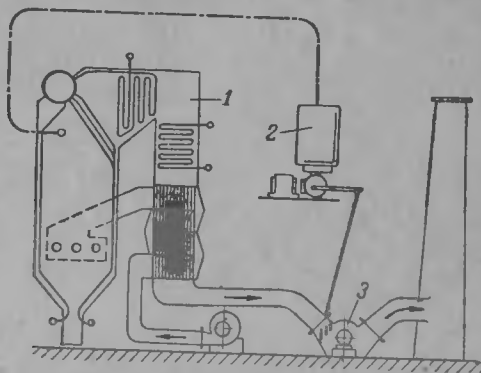
и, таким образом, колонка 5 включается в работу при всех изменениях подачи в топку угольной пыли. Этим достигается одно из основных условий регулирования топочного процесса: всякое изменение подачи топлива должно сопровождаться соответствующим изменением подачи воздуха для горения.

Во-вторых, механизмы колонки 5 могут начать работать при изменении разности давления воздуха до и после воздухоподогревателя, соответственно поворачивая лопатки направляющих аппаратов дутьевых вентиляторов и тем изменяя подачу воздуха. Это приводит к поддержанию заданного перепада его давления в воздухоподогревателе.

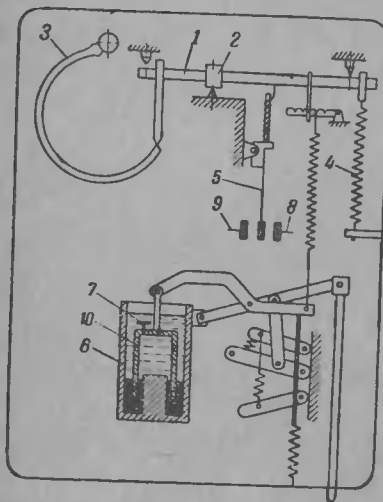
Третье автоматическое устройство, схематически изображенное отдельно на фиг. 15-4, управляет дымососами и поддерживает постоянное разрежение в топочном пространстве. Колонка 2 соединена с верхней частью топочного объема. При изменении разрежения в топке изменяется

степень открытия направляющих аппаратов дымососов и этим регулируется их производительность.

Рассматривая только принципиальную схему автоматического регулирования горения, мы не останавливаемся на



Фиг. 15-4. Упрощенная схема автоматического регулирования тяги по разрежению в топке.
1—котел; 2—колонка регулирования тяги; 3—дымосос.



Фиг. 15-5. Колонка регулирования давления ЦКТИ.

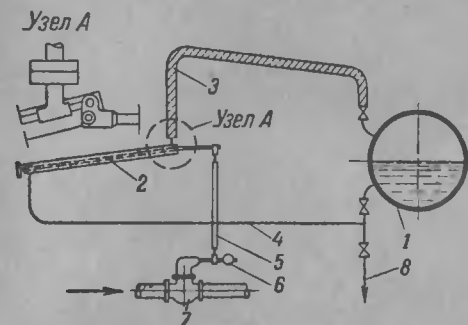
1—основной рычаг; 2—ножевая опора основного рычага; 3—манометрическая пружина; 4—пружина настройки; 5—золотник; 6—изодром; 7—регулирующий винт колокола изодрома; 8 и 9—контакты золотника; 10—колокол изодрома.

многочисленных ее вспомогательных устройствах: на ручном подрегулировании, на вспомогательных колонках и т. д. Не рассмотрено также описание способов настройки автоматов и ликвидации неполадок в их работе, что изложено в специальных руководствах.

Конструктивное оформление устройств для автоматического регулирования горения чрезвычайно разнообразно. В качестве примера на фиг. 15-5 показана колонка ЦКТИ для регулирования давления. При изменении давления пара выпрямляется или сжимается пустотелая манометрическая пружина 3, воздействующая на рычаг 1, который с другой

стороны оттягивается пружиной 4. Под действием рычага золотник 5 поворачивается налево или направо. Этим замыкается один из двух контактов 8 или 9, и через золотник и контакт проходит ток, который при помощи не показанных на фиг. 15-5 устройств включает электродвигатель исполнительного механизма, управляющего регулирующими органами котла.

Существенную роль в работе автоматического регулятора играет особое устройство, обеспечивающее обратную упругую связь между его элементами. В колонке ЦКТИ



Фиг. 15-6. Схема действия простого одноимпульсного регулятора питания котла водой.
1—барабан котла; 2—термостат; 3—паровая соединительная трубка; 4—водяная соединительная трубка; 5—тяга; 6—рычаг клапана с грузом; 7—клапан, регулирующий питание; 8—дренаж.

это достигается наличием колокола 10, плавающего в сосуде 6 со ртутью. При работе колонки автоматического регулирования происходит либо опускание колокола в ртуть, либо поднятие его. В обоих случаях колокол стремится занять начальное положение и соответственно действует на присоединенные к нему рычаги регулятора.

Автоматическое регулирование питания котла. Рассмотрим наиболее простую конструкцию автоматического регулирования питания котла водой, иногда являющуюся элементом более сложного устройства. Принцип действия автомата, изображенного на фиг. 15-6, заключается в том, что при понижении уровня воды в барабане тяга 5 приподнимает рычаг с грузом питательного клапана 7; при этом увеличивается подача воды в котел. Когда уровень воды в барабане котла повышается, тяга 5 соответственно опускает рычаг с грузом и питательный клапан прикрывается.

Основным элементом автоматического регулятора питания является термостат 2, представляющий собой находящуюся в оправе трубку, которая удлиняется при нагревании и укорачивается при охлаждении. Термостат расположен на высоте уровня воды в барабане. Верхний конец термостата соединен изолированной трубкой 3 с паровым объемом барабана. Нижний конец термостата 2 неизолированной трубкой 4 присоединен к водяному пространству.

Во время работы котла нижняя часть трубки термостата наполнена водой, а верхняя часть — паром. Пар внутри термостата имеет температуру, равную температуре кипения, вода имеет значительно меньшую температуру. При снижении уровня воды в барабане происходит соответственное понижение уровня воды в термостате, вследствие чего участок трубки, заполненный паром, возрастает, а участок, заполненный водой, уменьшается. При этом нагретая часть трубки удлиняется и воздействует на рычажок, управляющий открытием.

Повышение уровня воды в барабане соответственно приводит к сокращению длины трубки и обратному воздействию на рычажок. Трубку 4 нельзя окрашивать, ибо слой краски уменьшает охлаждение находящейся в трубке воды.

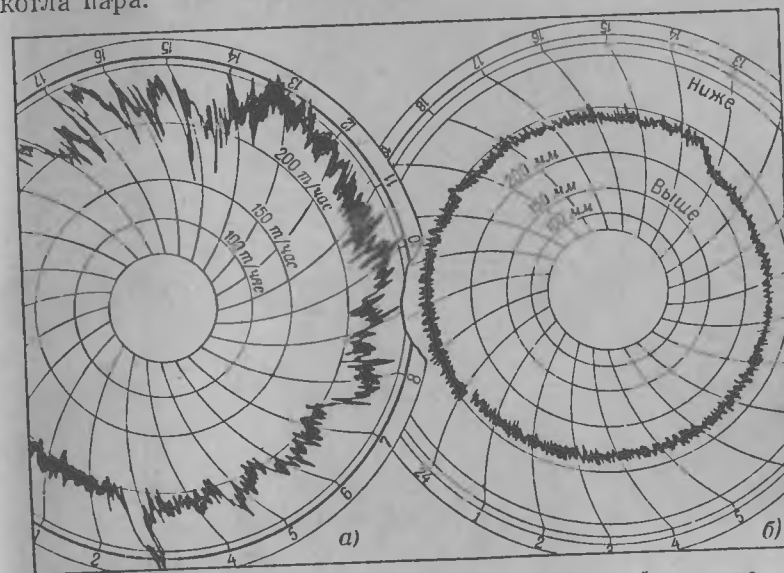
Нижний конец термостата закреплен неподвижно; перемещается только верхний его конец. В простой конструкции, показанной на фиг. 15-6, к этому концу трубки прикреплен рычаг с тягой 5, непосредственно присоединенной к питательному клапану.

Питательный трубопровод в зоне установки регулирующего клапана 7 должен быть надежно закреплен во избежание его перемещения и вибрации. Клапан 7 нельзя устанавливать в зоне высокой температуры, в частности вблизи люка в стене топки или газохода котла.

Паровая трубка 3 должна иметь достаточно изогнутую форму для беспрепятственного перемещения ее конца, прикрепленного к трубке термостата. В ней не должно быть горизонтальных участков, где могла бы скапливаться влага.

Рассматриваемая простая конструкция успешно работает при слабо колеблющейся нагрузке котла. Несовершенство ее заключается в том, что термостат изменяет подачу воды в котел после того, как положение уровня изменилось на некоторую величину, т. е. с опозданием обнаруживает возникшие нарушения. Поэтому схему автомата усложняют. Большое распространение получили двухимпульсные регуляторы, в которых степень открытия питательного кла-

пана 7 зависит не только от действия термостата 2, но и от другого механизма, который открывает питательный клапан тем больше, чем больше количество выходящего из котла пара.



Фиг. 15-7. Работа автомата питания при переменной нагрузке котла высокого давления.
а—график регистратора паромера; б—график регистратора уровня.

На фиг. 15-7 показаны результаты работы автоматического регулятора питания котла высокого давления. Из-за неустойчивой работы шнековых питателей пыльная нагрузка котла непрерывно изменялась в широких пределах (левый график). Однако уровень воды в барабане изменялся лишь на 20—25 мм даже при резких бросках нагрузки (в 3 часа и в 15 час.). Все же уровень воды в барабане медленно и непрерывно повышался. В 13 час. была произведена подрегулировка автомата питания, после которой уровень начал постепенно опускаться и к 24 часам стал примерно на 10 мм ниже, чем в 14 час. Графики фиг. 15-7 показывают, следовательно, что даже четко работающий автоматический регулятор нуждается в периодическом контроле и настройке.

15-3. РЕГУЛИРОВАНИЕ ПИТАНИЯ КОТЛОВ ВРУЧНУЮ

Как правило, регулирование питания должно производиться автоматами. Однако при неисправности автоматов иногда приходится регулировать положение уровня воды в барабане котла вручную, что у большей части котлов производится изменением открытия тех же клапанов. При руч-

ном регулировании управление арматурой должно производиться с отметки машиниста котла по показаниям сниженных уровнемеров.

При регулировании положения уровня нужно прежде всего предостеречь от ошибочного представления о том, что для безопасной работы котла уровень воды в барабане якобы достаточно держать все время лишь в пределах его прямой видимости в водоуказательных колонках. Такое регулирование раньше или позже неминуемо приведет к аварийной остановке котла. Действительные правила гораздо более жестки: уровень воды нужно поддерживать около нормального и не допускать его отклонения за отметки высшего и низшего уровня. Отметки предельного уровня должны иметься и на сниженных водоуказательных приборах.

Контроль за положением уровня воды в барабане котла производится в основном по водоуказательным колонкам чистого отсека ступенчатого испарения. По этим колонкам сверяют и сниженные водоуказательные приборы. В колонках солевых отсеков указателей нормального и предельных положений уровня ставить не следует; эти колонки обычно являются лишь контрольными.

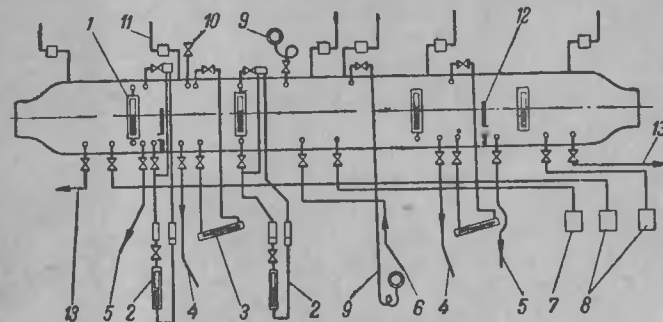
Нормальное и предельное положения уровня воды, как правило, указываются заводом-изготовителем котла. Не всегда нормальный уровень расположен по геометрической оси барабана.

Узкие границы регулирования уровня воды связаны с тем, что уровень может неожиданно резко измениться при значительных колебаниях нагрузки и давления котла. Кроме того, при ручном регулировании питания недопустимо изменение уровня часто происходит от невнимательности или недостаточной опытности персонала. Водосмотр не должен регулировать питание котла при небольших изменениях уровня, связанных с изменениями давления. Слишком тщательное регулирование уровня воды в барабане может привести к резким его колебаниям и дополнительно затруднит работу водосмотра.

Когда понижается давление в котле, то увеличивается объем пара, образующегося в экранных трубах, и объем паровых пузырей под уровнем воды в барабане. В результате этого начинает повышаться уровень воды в барабане котла и неопытный водосмотр прикрывает питательный клапан (допустим, на пол оборота штурвала). Видя снижение давления, машинист котла начинает

в следующий момент увеличивать нагрузку котла. Увеличению нагрузки должно соответствовать усиление питания котла водой, что приводит к снижению уровня воды в барабане котла.

Опытный водосмотр, когда уровень опустится ниже среднего, увеличит питание (допустим, откроет клапан на один оборот штурвала). У неопытного водосмотра, преждевременно прикрывшего питание, уровень воды будет снижаться быстрее и ему придется за меньшее время открыть питательный клапан не на один, а на полтора оборота



Фиг. 15-8. Примерная схема присоединительных штуцеров барабана котла высокого давления.

1—водоуказательный прибор; 2—сниженный водоуказательный прибор; 3—регулятор питания; 4—рециркуляция воды в водяной экономайзер; 5—непрерывная продувка; 6—линия для фосфатирования котла; 7—отбор пробы воды из чистого отсека; 8—отбор пробы воды из солевых отсеков; 9—манометр; 10—отбор пара на собственные нужды котельного цеха; 11—предохранительный клапан; 12—внутренняя разделительная стенка между соевым и чистым отсеками двухступенчатого испарения; 13—непрерывная продувка.

штурвала. При этом увеличится опасность упуска уровня. Необходимо уметь определять, на сколько оборотов штурвала нужно открывать или закрывать питательный клапан каждого отдельного котла при различном колебании уровня.

Водосмотр должен следить не только за уровнем воды в водоуказательных колонках, но и за показаниями всегда находящегося перед ним манометра. Он должен сравнивать между собой показания установленных на его рабочем месте паромера и водомера. Подачу воды вручную нужно вести по возможности так, чтобы ее расход почти равнялся расходу пара котлом (если приборы показывают правильно).

Водосмотр должен хорошо знать назначение каждого из присоединенных к барабану трубопроводов, расположение

которых для одного из котлов высокого давления показано на фиг. 15-8.

При чрезмерном снижении уровня возможно образование воронок и появление пара в водоопускных трубах, вследствие чего аварийный разрыв труб экрана или конвективного пучка может произойти задолго до опорожнения барабана. Появление брызг и слоя пены над уровнем воды может ухудшить качество пара задолго до того, как вода наполнит барабан до пароотводящих труб. Поэтому водосмотр даже при отрегулированном питании котла должен все время быть начеку, чтобы возможный сброс давления или резкое изменение нагрузки не застало его врасплох. Особо внимательным нужно быть при ручном регулировании питания.

При подаче воды в котел необходимо учитывать следующее:

а) регулирование можно вести обоими клапанами 2, работающими параллельно (фиг. 13-2);

б) можно регулировать подачу воды только на одной из питательных линий; по другой линии тогда проходит некоторое количество воды, грубо регулируемое вручную лишь при значительных изменениях нагрузки котла;

в) можно всю воду подавать по одной питательной линии; другая линия при этом отключена.

Допустима подача воды по любой из этих трех схем. Однако рекомендовать как лучшую нужно схему б.

Режим работы по схеме в, т. е. подача всей воды только по одной магистрали, опасен в случае выхода из строя одного из вентилях, когда нужно в очень короткое время не только выключить поврежденную линию, но успеть включить подачу воды по резервному трубопроводу. Этот режим работы можно рассматривать только как временный, вынужденный.

Работа по схеме а затрудняется сложностью одновременной настройки двух работающих параллельно автоматов питания. Кроме того, в некоторых конструкциях усложняется ручное подрегулирование автоматов питания, которое иногда требуется при значительном изменении нагрузки.

Ручное регулирование подачи воды нельзя, конечно, производить одновременно по двум магистралям. Здесь также следует считать наиболее целесообразным режим по схеме б, т. е. с регулированием подачи воды по одной линии и подачей некоторого, нерегулируемого количества воды по другой линии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сборник инструкций по обслуживанию котлов и топочных устройств, ГЭИ, 1954.
2. А. М. Литвин, Основы теплоэнергетики, ГЭИ, 1954.
3. С. Н. Шорин, Руководство для кочегара, ГЭИ, 1953.
4. И. Ф. Шапкин, Водоподготовка на тепловых электростанциях, ГЭИ, 1954.
5. М. В. Мейкляр, Повреждения водотрубных паровых котлов из-за нарушения циркуляции, ГЭИ, 1952.
6. В. А. Голубцов и П. П. Елизаров, Эксплуатация котельных установок электростанций, ГЭИ, 1950.
7. П. С. Кибрик, Руководство для машинистов пылеприготовительных установок, ГЭИ, 1954.